

SEGMENTAÇÃO AUTOMÁTICA NA AVALIAÇÃO DA MOTILIDADE GÁSTRICA E DA DISTRIBUIÇÃO INTRAGÁSTRICA

AUTOMATIC SEGMENTATION IN EVALUATING GASTRIC MOTILITY AND INTRAGASTRIC DISTRIBUTION

Rafaela Fanelli¹ Marjorie do Val Ietsugu² José Ricardo de Arruda Miranda³
Madileine Francely Américo⁴ Paulo Roberto da Fonseca Filho⁵

RESUMO

A avaliação da motilidade e da distribuição intragástrica de refeição (DIR) utilizando a cintilografia pode auxiliar na compreensão de patologias envolvendo o trato gastrointestinal. Nesse sentido, a utilização de formas automáticas de segmentação gástrica colaborou na padronização de metodologias para a análise das doenças motoras do órgão. Objetivou-se desenvolver um algoritmo para segmentação gástrica de forma automática, a fim de auxiliar nas avaliações da DIR e da atividade de contração do estômago. Foram utilizadas as imagens dinâmicas cintilográficas de um indivíduo normal, após a ingestão de uma refeição-teste marcada com ^{99m}Tc-SnCol. Essas imagens foram processadas em ambiente Matlab[®] para realce e segmentação a fim de determinar a área da distribuição do alimento. Ao registro temporal da área da imagem foi aplicada uma análise de Fourier para determinar as frequências dominantes da atividade de contração gástrica. Em todos os testes realizados, a avaliação da atividade de contração gástrica, por meio da segmentação automatizada de cada imagem do exame dinâmico, apresentou resultados similares aos métodos de quantificação tradicionais por contagem, especialmente no que diz respeito à contração gástrica da porção distal. Utilizando o método de segmentação automatizado, foi possível determinar a atividade de contração e as frequências características da fisiologia normal do estômago, condizentes com os resultados previamente descritos em literatura .

Palavras-chave: Cintilografia. Motilidade gástrica. Distribuição intragástrica. Métodos de segmentação.

¹ Bacharel em Física Médica pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos.

² Docente da Faculdade de Tecnologia de Botucatu e Universidade Nove de Julho.

³ Docente da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências de Botucatu.

⁴ Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde/Campus Universitário Araguaia.

⁵ Docente da Faculdade de Tecnologia de Botucatu e do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. Endereço para correspondência: Faculdade de Tecnologia de Botucatu. Av. José Italo Bacchi, s/n – Jardim Aeroporto – Botucatu/SP – CEP 18606-855. E-mail: prfonseca@fatecbt.edu.br

ABSTRACT

Motility assessment and intragastric distribution of meal (IDM) by scintigraphy is one of the most used procedures to elucidate gastrointestinal pathologies. In this sense, the use of automatic gastric segmentation can assist to standardize methodologies for the analysis of gastric motor disorders. The aim of this study was to develop an algorithm for automatic gastric segmentation in order to assist IDM and gastric motility evaluations. Dynamic scintigraphic images of normal volunteer were used after the ingestion of a test meal labeled with ^{99m}Tc -sulphur colloid. The images were processed in Matlab ® environment for enhancement and segmentation to determine meal distribution area. Fourier analysis was applied to image area at time record to determine dominant frequencies of gastric contraction. In all tests, gastric activity contraction assessment, using automated segmentation of each dynamic image, has showed similar results to traditional methods of quantification by counting, mainly concerning contraction of distal gastric compartment. Using automated segmentation method, it was possible to determine contraction activity and frequency which are characteristics of the normal gastric physiology, consistent with results previously reported in literature.

Key words: Scintigraphy. Gastric motility. Intragastric Distribution. Segmentation methods.

1 INTRODUÇÃO

A atividade motora gástrica é determinada pelo funcionamento coordenado de dois compartimentos fisiologicamente distintos, denominados estômago proximal e distal. No homem, a distribuição das refeições nesses dois compartimentos é denominada distribuição intragástrica de uma refeição (DIR) na qual, em indivíduos normais, inicia-se após a ingestão, com o alimento permanecendo predominantemente na região proximal, sendo progressivamente redistribuído, pelo aumento do tônus proximal, para a parte distal à medida que há esvaziamento gástrico (AMÉRICO et al., 2010). Patologias do trato gastrintestinal (TGI), como a dispepsia funcional, influenciam a atividade motora do órgão e, conseqüentemente, podem influenciar na DIR.

Desse modo, considerando a importância da função motora gástrica e do funcionamento integrado do TGI, inúmeros estudos têm sido desenvolvidos, focando o esvaziamento gástrico e distribuição do alimento entre os compartimentos do órgão. Assim, devido ao grande número de indivíduos que apresenta uma distribuição irregular entre os compartimentos ou outras alterações na motilidade do TGI, técnicas como ressonância magnética, ultrassonografia, balão barostaticamente controlado, biosusceptometria de corrente alternada e a cintilografia têm sido utilizadas. Todavia, o fato de estas técnicas apresentarem alto custo, necessidade de intubação, impossibilidade de avaliar simultaneamente o órgão inteiro ou não serem completamente validadas fez com que a cintilografia, apesar de utilizar radiação ionizante, tenha se tornado padrão-ouro para o estudo da motilidade gástrica, mostrando-se capaz de caracterizar quantitativamente a função motora e delinear seqüências espaciais de suas contrações (IETSUGU, 2008).

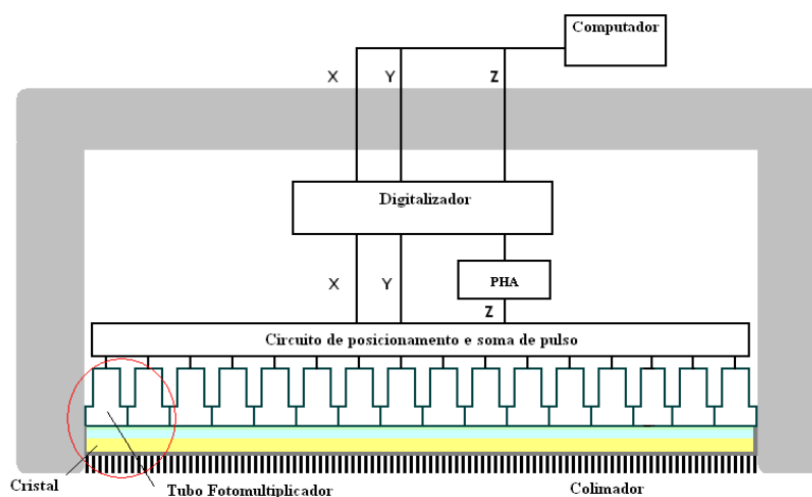
A cintilografia é uma técnica de diagnóstico por imagem capaz de obter informações funcionais de órgãos e sistemas por meio da detecção de fótons de raios gama (γ) oriundos dos pacientes. Para a realização dos exames cintilográficos, são administradas substâncias radioativas que atuam como traçadores para processos fisiológicos específicos. O Tecnécio-99m (^{99m}Tc) é o principal emissor gama utilizado devido a sua meia-vida aproximada de 6 horas e energia de 140 keV, características que favorecem a sua utilização em medicina nuclear. Após sua obtenção, o ^{99m}Tc é geralmente adicionado a fármacos, processo conhecido como radiomarcagem. Os radiofármacos oriundos dessa reação retratam a fisiologia e/ou a fisiopatologia do órgão

ou sistema em estudo, não perturbando suas funções e permitindo o seu monitoramento (BADAWI, 2001).

A realização da cintilografia só é possível através da gama câmara, equipamento empregado na medicina nuclear para detectar a radiação γ emitida pelos radionuclídeos (POWSNER; POWSNER, 2006). O sistema de formação de imagem da gama câmara tem como principais componentes o colimador, cristal cintilador de Iodeto de Sódio dopado com Tálcio (NaI(Tl)), conjunto de aproximadamente 50 tubos fotomultiplicadores, circuito de posicionamento (X e Y), analisador de altura de pulso (PHA - *Pulse Height Analyzer*- Z), digitalizador e computador, conforme Figura 1 (WIECEK, 2007). O colimador, composto por septos de chumbo, exerce a função de conduzir ao cristal apenas os raios γ que têm trajetória paralela aos septos, especificando a direção dos raios absorvidos pelo cristal, o qual é responsável por transformar os raios γ em fótons de luz, processo conhecido como cintilação. Os fótons de luz gerados pelo cristal são captados pela matriz fotomultiplicadora e convertidos em pulsos elétricos, posteriormente posicionados na imagem por um circuito de posicionamento lógico. Os eventos são analisados por um PHA, selecionando fótons em um intervalo aceitável de energia, traduzindo essa energia em forma de imagens 2D normalmente representada como uma matriz de valores de brilho, permitindo ajustes de brilho e contraste (CHERRY et al., 2003).

Figura 1 – Representação esquemática dos principais componentes da gama câmara.

Região circular corresponde ao acoplamento colimador – cristal - tubo fotomultiplicador.



Fonte: WIECEK, 2007

A imagem cintilográfica pode ser registrada em três modos: estático, dinâmico ou tomográfico. As imagens estáticas são adquiridas por tempo de aquisição ou por contagem de eventos de decaimento, sendo que as imagens tomografias correspondem à reconstrução matemática de aquisições estáticas em torno no paciente, resultando em visões sagitais, coronais e transversais de uma área em estudo. As imagens dinâmicas correspondem a inúmeras imagens estáticas sequenciais e temporais, a fim de avaliar a biodistribuição do radiofármaco em órgãos e sistemas, fornecendo informações fisiológicas em função da razão do movimento do traçador (POWSNER; POWSNER, 2006).

Dessa forma, considerando que a cintilografia é o padrão-ouro para avaliar a motilidade do TGI, o estudo dinâmico do estômago é capaz de fornecer informações importantes sobre a DIR e a motilidade do órgão. Todavia, para essa função, a cintilografia enfrenta o desafio de uniformizar os protocolos relacionados à refeição-teste, à aquisição de imagens e às modalidades de segmentação gástrica, uma vez que esta segmentação se dá de inúmeras formas e, na maioria dos casos, constitui-se uma ação manual e operador-dependente (SZARKA; CAMILLERI, 2009; AMÉRICO et al., 2010).

Nesse contexto, a utilização de um algoritmo de segmentação automática do estômago pode auxiliar na compreensão da DIR e da motilidade gástrica, proporcionando uniformização na segmentação e apurando as informações fornecidas pelas imagens dinâmicas cintilográficas.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um recurso computacional para segmentação gástrica de forma automática, a fim de auxiliar nas avaliações da DIR e da atividade de contração do estômago.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB/UNESP), um voluntário saudável, sem histórico de doença digestiva ou

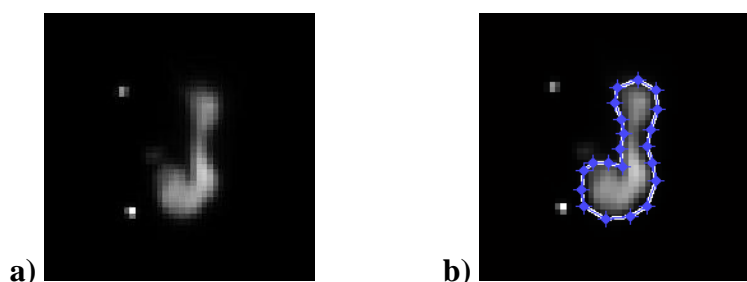
cirurgia abdominal prévia, foi avaliado após jejum de 8 horas. A refeição-teste correspondeu a 60 ml de iogurte marcado com $^{99m}\text{Tc-SnCol}$.

Durante a aquisição das imagens, o indivíduo permaneceu em posição ortostática em frente a uma gama câmara modelo Siemens *Orbiter*[®]. Concomitante à ingestão do alimento, foi iniciada a aquisição de imagens por aproximadamente 18 minutos, com aquisição de 1 Hertz (Hz), em matriz de 64 x 64, fotópico 140 keV, janela de 20% e colimador LEHR. Esta série temporal de imagens foi processada em MatLab[®] (versão 2009 – *Mathworks Inc*), utilizando os recursos do *Image Processing Toolbox*. As tarefas de processamento foram divididas conforme as etapas abaixo descritas.

Considerando que as imagens apresentavam dois marcadores para indicar referências anatômicas externas, foi necessário descartar esta informação da imagem por meio do auxílio de regiões de interesse (ROIs - *Regions Of Interest*), que são um subconjunto selecionado de amostras dentro de um conjunto de dados na imagem. O desenho de uma ROI em uma imagem permite medir a área, o valor médio de pixels e o desvio padrão de uma área específica da imagem, descartando assim o que não contribui no processo de segmentação (Figura 2). Em seguida, dado que as imagens possuíam quantidades significativas de ruído, foi aplicado um filtro passa-baixa no domínio de Fourier para suavizar a imagem facilitando sua segmentação.

Como alimento possuía marcação radioativa, as únicas áreas da imagem que apresentaram sinal corresponderam à distribuição intragástrica desta refeição (Figura 2). Desta maneira, uma figura correspondendo ao somatório de todas as imagens foi exibida para que fosse especificado manualmente o contorno do estômago.

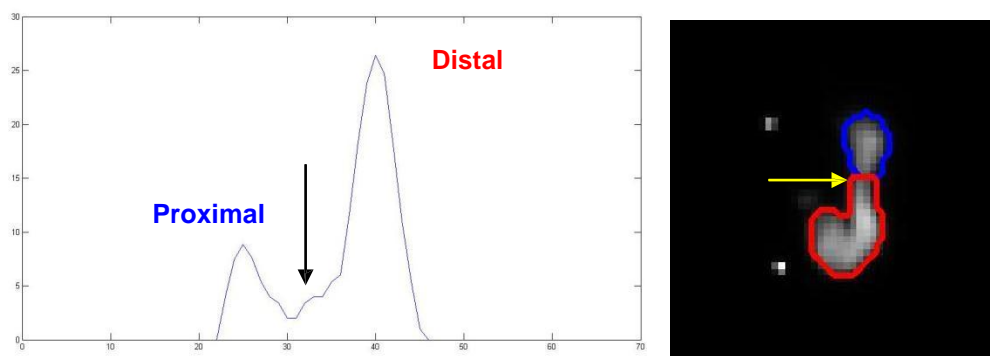
Figura 2 – Somatório das imagens avaliadas para um voluntário que ingeriu uma refeição de 60 ml (a); delimitação da região de interesse (b).



Fazendo uma transformada de distância e somando horizontalmente os valores obteve-se o perfil lateral da imagem (Figura 3). Por meio desta imagem foi determinada

a região de transição entre o estômago proximal e distal, em destaque na figura 3, definido como um limitador entre as regiões proximal e distal.

Figura 3 – Perfil lateral da imagem para identificação do ponto de divisão entre o estômago proximal e distal, neste caso o vale indicado na imagem.



Ao aplicar algoritmos de segmentação às imagens pré-processadas, pode-se determinar exatamente a área da imagem sobre a qual este alimento está distribuído. Como a distribuição da refeição é alterada pela atividade de contração gástrica (ACG), é possível monitorar a atividade nas duas ROIs previamente estabelecidas e também inferir a motilidade do órgão.

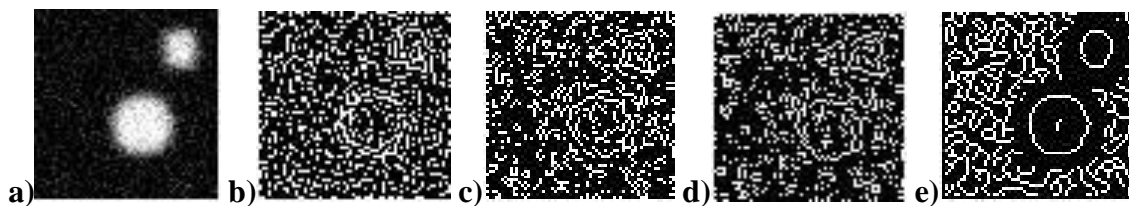
Para verificar qual teria o melhor desempenho em detectar bordas, foram criadas imagens sintéticas, que simulavam objetos com as mesmas características das imagens cintilográficas quanto à resolução, ruído e tamanho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem simulada foi segmentada utilizando quatro detectores de borda diferenciais de primeira ordem, a saber: Canny, Prewitt, Sobel e Roberts. Os resultados dos testes são exibidos na figura 4, onde é possível notar que o detector de Canny foi o que melhor cumpriu o objetivo de detectar as bordas dos dois objetos de teste. Os outros três métodos apresentaram elevada sensibilidade a ruído, dificultando detectar corretamente as bordas da imagem teste. Estes resultados foram possíveis porque o método de Canny usa dois limiares para detectar bordas fortes e fracas, retornando as bordas fracas na imagem resultante somente se estas estiverem conectadas com as bordas fortes, ideal para imagens como as de medicina nuclear este operador é o mais indicado em detectar contornos (GONZALEZ; WOODS, 2011).

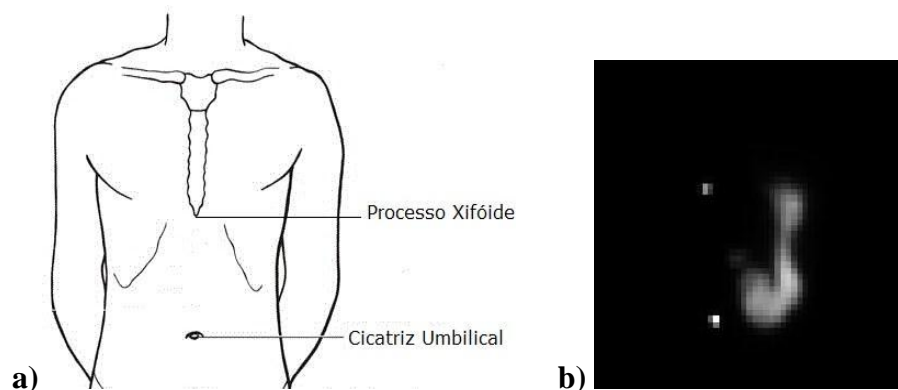
Figura 4 – Imagem simulada (a) e o resultado da aplicação de diferentes segmentadores:

Roberts (b), Sobel (c), Prewitt (d), Canny (e).



Nas imagens cintilográficas utilizadas neste projeto, existiam dois referenciais externos, um na altura do processo xifóide e outro na altura da cicatriz umbilical (Figura 5). Esses marcadores, apesar de fornecer ao pesquisador uma referência da posição do alimento no interior do estômago, interferiram na quantificação dos processos fisiológicos como motilidade gástrica e esvaziamento.

Figura 5 – Esquema de posicionamento dos marcadores externos (a) e sua respectiva posição na imagem (b).



Para evitar essa tal interferência, uma ROI foi manualmente desenhada selecionando apenas a região do estômago. Após demarcada a região de interesse, foi aplicado na imagem do estômago o segmentador Canny e obteve-se o resultado esperado na detecção de bordas, com o mínimo de ruído (Figura 6).

Figura 6 – Delimitação da região de interesse na imagem cintilográfica (a) e o resultado da segmentação por Canny (b).



As imagens da figura 7 representam uma sequência de imagens que correspondem à distribuição do alimento no estômago ao longo do tempo. A intensidade da coloração da imagem reflete a atividade do alimento radioativo. Nesse esquema de cores, a cor vermelha representa maior atividade enquanto que a cor azul representa menor atividade. Em volta das imagens, uma linha vermelha escura demonstra o resultado de segmentação pelo detector de bordas Canny, aplicando os mesmos recursos da figura anterior.

Quando a área de cada imagem é representada em função do tempo, tem-se a curva representada em cinza na figura 8, onde é possível observar a ingestão do alimento (aumento de área marcada na imagem) e acomodação deste após a ingestão. Nota-se também a ocorrência de leves oscilações nos valores de área, que são resultado da movimentação do abdome durante a respiração e também a contração do estômago para digestão do alimento. Como a intenção desse trabalho é auxiliar na avaliação da atividade de contração gástrica, um filtro passa-baixa Butterworth de segunda ordem, com frequência de corte 4,5 ciclos por minuto (c.p.m) foi aplicado neste sinal, resultando na curva em vermelho, em que estão representadas somente a chegada do alimento e as movimentações do estômago, representadas pelas setas.

Figura 7 – Sequência temporal de imagens, com intervalo de 120 imagens entre uma e outra, mostrando a distribuição intragástrica do alimento em função do tempo.

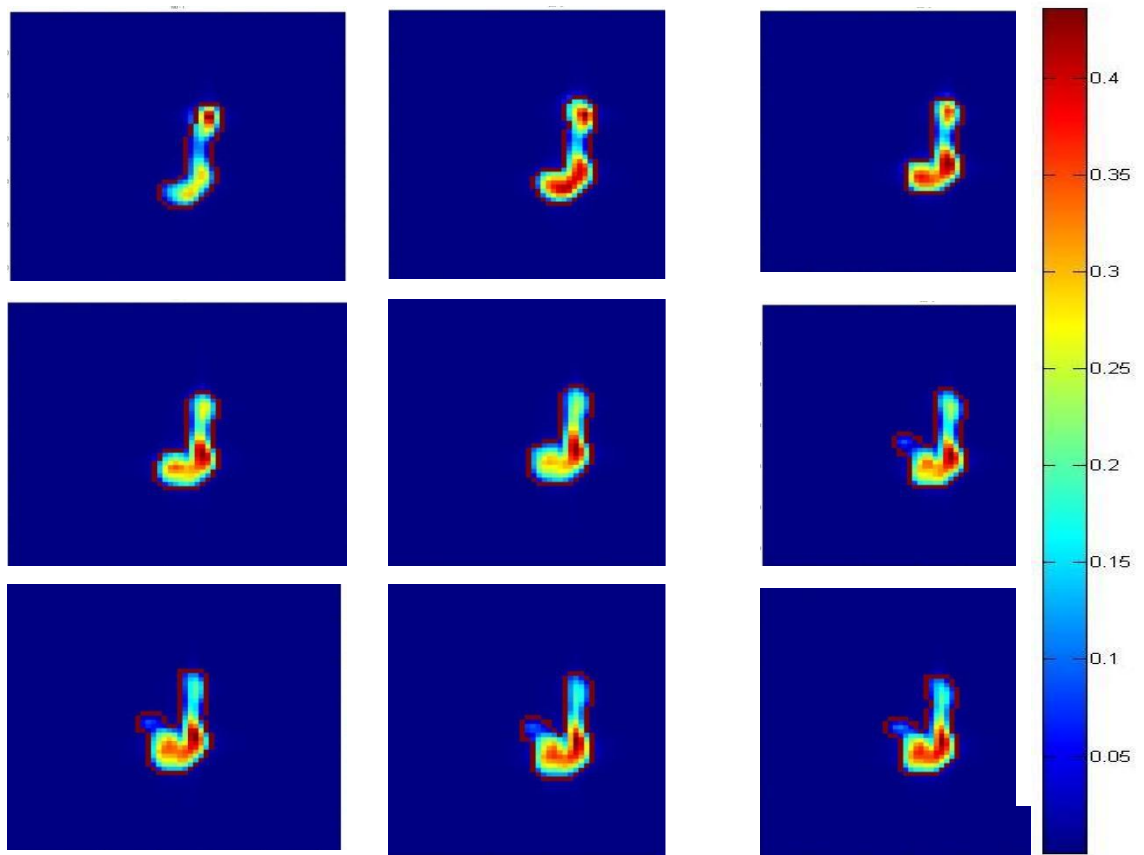
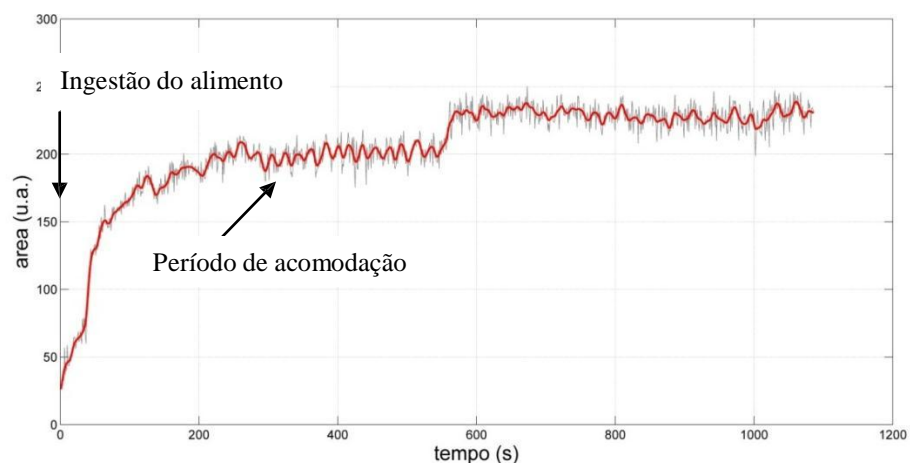


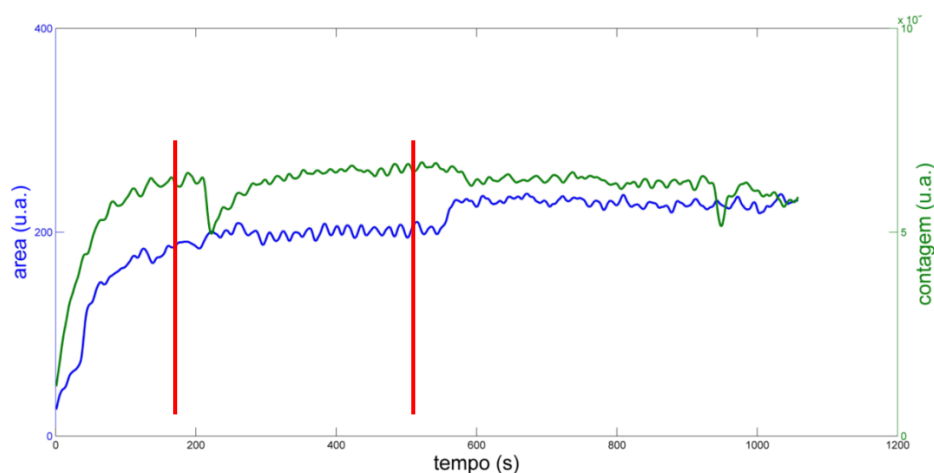
Figura 8 – Variação temporal da área. Nesta imagem, é possível observar a ingestão do alimento e seu período de acomodação no decorrer do tempo. A curva vermelha é uma representação filtrada da curva cinza.



Américo et al. (2007) realizaram uma análise em que eram medidas contagens, que é o somatório da atividade medida em cada ponto de uma ROI desenhada manualmente, para verificar a atividade de contração gástrica. Considerando que

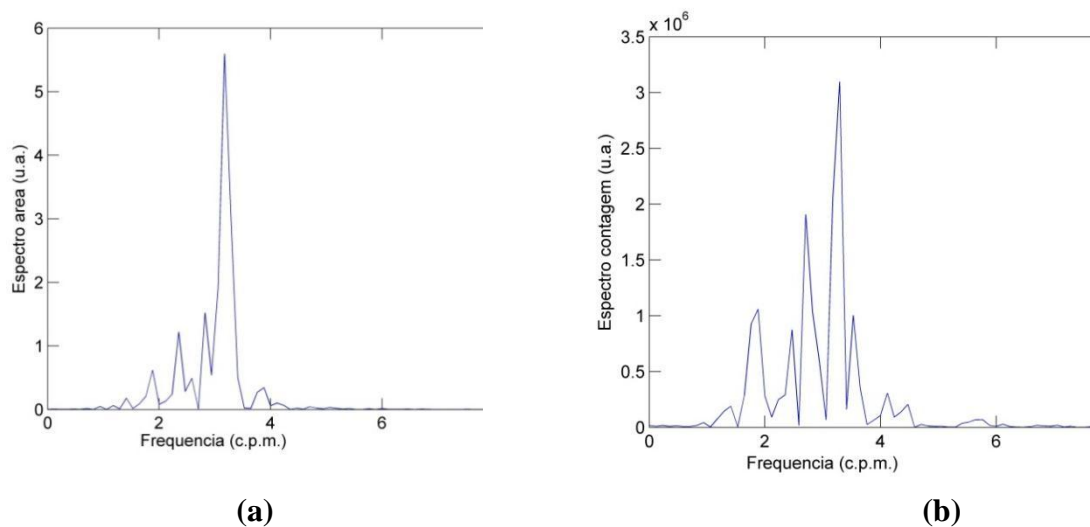
durante as contrações ocorrem deslocamentos contínuos da parede do órgão e, conseqüentemente, há alterações na área de distribuição do alimento que pode ser medido na imagem através da segmentação. A figura 9 mostra a variação da contagem e da área em relação ao tempo. É possível observar que ambas as curvas possuem o mesmo perfil de acúmulo do alimento após a ingestão.

Figura 9 – Variação temporal da área (curva azul) e da atividade total na imagem (contagens) ao longo do tempo (curva verde). Intervalo entre as linhas vermelhas utilizado para avaliação da frequência de contração gástrica.



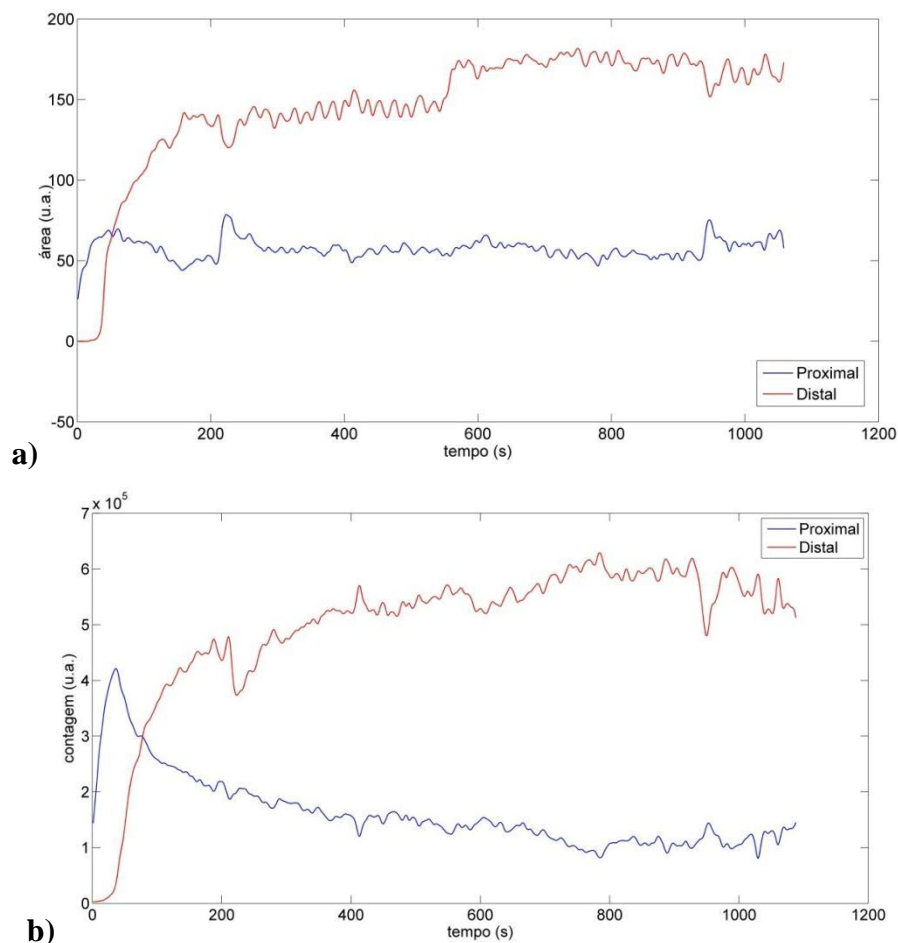
O sinal compreendido entre as linhas vermelhas da figura anterior foi separado e aplicado a ele uma transformada de Fourier, capaz de representar um sinal no domínio do tempo em um sinal no domínio da frequência, para determinar quais foram as frequências predominantes em cada caso. A figura 10 mostra os espectros de potência (módulo da transformada de Fourier) para cada sinal. Em ambos os casos, é predominante um pico em torno de 3 c.p.m., característico da atividade de contração gástrica.

Figura 10 – Espectros de Fourier para sinal coletado através de segmentação pela área (a) e contagem (b).



Quando estes sinais foram avaliados a partir da classificação automática das regiões proximal e distal do estômago, foram obtidas as curvas da figura 11, que representam variações de área e contagem para cada porção do órgão. Na figura 11.a percebe-se que o estômago proximal não apresentou grandes variações de área, enquanto que o estômago distal foi expandindo conforme a chegada do alimento, neste último a atividade de contração é mais evidente que no estômago proximal. Já, na figura 11.b, fica nítido o papel do estômago proximal como reservatório, isso é, recebe o alimento que posteriormente seguirá para a porção distal do estômago. Nos dois casos, o estômago proximal comportou-se como reservatório e o estômago distal como principal responsável pelo processamento do alimento.

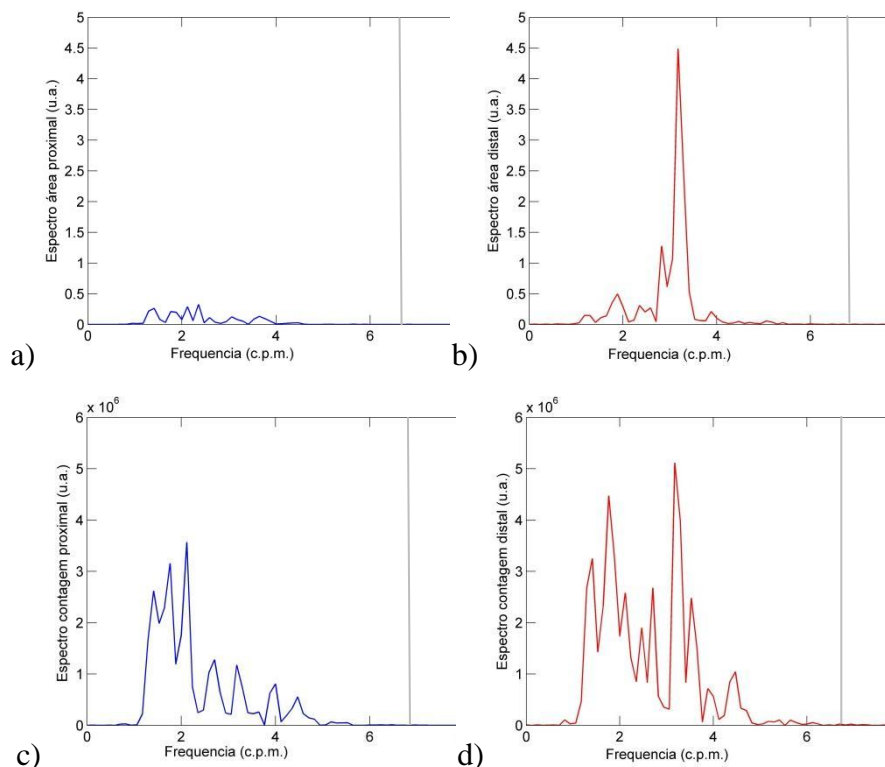
Figura 11 – Variação temporal de área (a) e contagens (b) nas regiões proximal e distal do estômago.



A avaliação de frequência dos gráficos da figura 11 é apresentada na figura 12, em que se percebe que a atividade de contração gástrica é mais forte na porção distal, tanto para medidas realizadas com a área da imagem quanto para contagens. Na avaliação por área, o estômago proximal não apresentou atividade de contração significativa, enquanto que nas medidas baseadas em contagens, sua ACG é mais evidente em baixas frequências, conforme discutido por Américo et al. (2007) que ainda justificam a origem dos diversos picos de baixa frequência nos registros do estômago distal.

É interessante ressaltar nesta figura que ambas as metodologias registraram o principal pico de ACG em torno de três ciclos por minuto na porção distal do estômago, provavelmente pela influência da contração do esfíncter pilórico.

Figura 12 – Espectros de Fourier para porções proximal (a) e distal (d) para ACG medida por área comparadas à ACG proximal (c) e distal (d) avaliada por contagens no interior de uma ROI.



4 CONCLUSÃO

Em todos os testes realizados, a avaliação da atividade de contração gástrica (ACG) através da área da imagem, isso é, através de segmentação automatizada de cada imagem de um exame dinâmico apresentou resultados similares aos métodos de quantificação tradicionais (manuais) por contagem, especialmente no que diz respeito à ACG da porção distal do estômago. Em algumas situações, estes métodos mostraram-se complementares, ao notar-se que o volume do estômago proximal não variava ao longo do tempo, porém o alimento nele contido fluía gradativamente para o estômago distal.

Dessa maneira, conclui-se que o método proposto é viável e adequado às metodologias de pesquisa da área necessitando, todavia, de validação com mais voluntários e também com outros tipos de refeição-teste.

REFERÊNCIAS

AMÉRICO, M.F. et al. Scintigraphy validation of ac biosusceptometry to study the gastric motor activity and the intragastric distribution of food in humans.

Neurogastroenterol. Motil., v.19, n.10, p.804-811, 2007.

AMÉRICO, M.F. et al. Effects of meal size and proximal-distal segmentation on gastric activity. **World J. Gastroenterol.**, v. 16, p. 5861-5868, 2010.

BADAWI, R.D. **Nuclear Medicine**. Phys. Educ., v.36, p.452-459, 2001.

CHERRY, S.R.; SORENSON, J.A.; PHELPS, M.E. Physics in Nuclear Medicine. 3.ed. Pennsylvania: Saunders, 2003. 523p.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento de Imagens Digitais**, 3 ed. Ed. Pearson Education, São Paulo, 2011. 640p.

IETSUGU, M.V. **Distribuição intragástrica de refeições com 60 ml e 180 ml: três segmentações proximal-distal empregando a cintilografia**. 2008. 81f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Unesp, Botucatu.

POWSNER, R.A.; POWSNER, E.R. **Essentials of Nuclear Medicine Physics**. Oxford: Blackwell Science, 2006. 199p.

SZARKA, A.; CAMILLERI, M. Methods for measurement of gastric motility. **Am. J. Gastrointest. Liver Physiol.**, v.296, p.461-475, 2009.

WIECEK, D.P. **Instrumentação em medicina nuclear**, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado – Física Médica) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.