

## **APLICATIVO PARA A DETERMINAÇÃO DOS ÂNGULOS DE FLEXÃO DO EIXO MÉDIO DO PÉ<sup>1</sup>**

MOTA, Carlos Bolli<sup>1</sup>

AVILA, Aluisio Otavio Vargas<sup>2</sup>

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi a implementação de um sistema baseado em imagens para a determinação dos ângulos de flexão do eixo médio e da área da projeção do pé humano. Sua realização se justifica pela inexistência de um aplicativo desta natureza e pela contribuição que ele poderá trazer para todos aqueles que estejam envolvidos ou venham a se envolver no estudo de características do pé humano. O sistema foi desenvolvido em linguagem IDL (*Interactive Data Language*) e baseia-se totalmente em janelas. Os dados obtidos são armazenados em arquivos texto facilmente acessados por outros aplicativos. Após a implementação procedeu-se à avaliação do sistema e os resultados obtidos permitiram concluir que o aplicativo proposto mostrou-se adequado para a obtenção dos ângulos de flexão do eixo médio e da área da projeção do pé. O mesmo apresentou boa reprodutibilidade, com baixa variabilidade entre sucessivas repetições, a variabilidade entre usuários sem experiência no seu uso foi baixa e o coeficiente de variação das medidas também manteve-se baixo, havendo uma tendência de estabilização após aproximadamente cinco repetições.

**Unitermos:** antropometria, processamento de imagens, pé humano, programação.

---

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano – CEFD – UFSM

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina

---

## SOFTWARE FOR THE DETERMINATION OF THE FLEXION ANGLES OF THE MEDIAL AXIS OF THE FOOT

### ABSTRACT

The aim of this work was to implement a measurement system based on images for the purposes of the determination of the flexion angles of the medial axis and the projection area of the human foot. Its accomplishment is justified by the lack of a software of this nature and for the contribution that it might bring for all those people who are involved or, one way or other, will be involved in the task of determining characteristics of the human foot. The system was developed in IDL language (Interactive Data Language) and is totally based on graphic windows. The obtained data are stored in text files easily accessed by other softwares. After the implementation, the evaluation of the system took place and the obtained results allowed to conclude that the software was appropriate for the determination of the anterior and posterior flexion angles of the medial axis and the projection area of the foot. It presented good reproducibility, with low variability among successive repetitions, the variability among inexperienced users using the software was low, the coefficient of variation of the measures was low and there was a tendency for its stabilization after approximately five repetitions.

**Uniterms:** anthropometry, image processing, human foot, software.

---

### INTRODUÇÃO

A Biomecânica é uma disciplina eminentemente experimental, e como tal depende de processos de medição. Qualquer pesquisa nesta área está sujeita à determinação de grandezas físicas que possam ser medidas. Por isto a técnica física de medir e sua aplicação no corpo humano representam uma parte básica relevante dos métodos de trabalho da Biomecânica. Um aspecto importante a ser considerado é a seleção do instrumental e da técnica de medição a serem utilizados, pois a determinação das grandezas a serem medidas deve ser feita com a exatidão exigida no caso. Obviamente, conforme citam Amadio & Duarte (1996), é necessário que existam métodos de medição próprios para serem aplicados nas situações desejadas.

A disponibilidade de equipamentos eletrônicos e computadores aumentou significativamente nos últimos anos em função do avanço tecnológico e da redução de custos. Isto permitiu a concepção de técnicas de medição baseadas no processamento digital de imagens. O processamento digital de imagens envolve

operações com os elementos das matrizes que representam as imagens e, para isto, são necessários aplicativos adequados. Existem diversos aplicativos comerciais que possibilitam uma série de operações com imagens, mas poucos voltados para a biomecânica. Portanto, na maior parte das vezes, se faz necessária a implementação de aplicativos adequados que venham suprir as necessidades que se apresentam.

Com a evolução das linguagens de programação o processo de implementação de aplicativos voltados para o processamento digital de imagens tem se tornado mais simples. Uma linguagem de programação bastante adequada para estas aplicações é o IDL (*Interactive Data Language*). O IDL é uma linguagem estruturada completa para a análise e a visualização de dados. Integra poderosos algoritmos orientados para matrizes, com numerosas análises matemáticas e técnicas de visualização. A programação em IDL é uma alternativa eficaz em relação a outras linguagens, principalmente no que diz respeito ao tempo de programação e de processamento. Tarefas que requereriam dias ou mesmo semanas de programação com linguagens tradicionais, como o C, podem ser realizadas em horas (RESEARCH SYSTEMS, Inc., 1995).

Dentro de uma perspectiva de integração com a iniciativa privada, pesquisadores e instituições de pesquisa brasileiros têm trabalhado em conjunto com empresas de diversas áreas, cumprindo com um dos objetivos da pesquisa, que é a geração de conhecimento aplicado às necessidades da sociedade. Um segmento que há algum tempo percebeu a necessidade de evoluir tecnicamente e para isto tem buscado subsídios na pesquisa para melhorar a qualidade do seu produto é a indústria calçadista. Com isto, hoje se verifica uma aproximação significativa da indústria calçadista com as universidades, e um dos grandes interesses é a definição de padrões dimensionais do pé, tendo em vista a produção de calçados mais adequados aos usuários, contemplando critérios de conforto, saúde e segurança.

O conforto de um calçado é influenciado por vários fatores, dentre eles as características morfológicas do pé. Estas características, segundo Kouchi (1995), não podem ser representadas usando-se apenas as medidas convencionais, como comprimentos, larguras, alturas, perímetros e medidas angulares. Com base nas dimensões verifica-se que ocorre uma variação muito grande na forma dos pés (Manfio & Avila, 1997). Estas variações são importantes para o calce, pois pés com formas diferentes usando o mesmo calçado recebem pressões localizadas em regiões diferentes. Segundo Kouchi (1995), os ângulos de flexão do eixo médio do pé fornecem informações úteis na análise morfológica por acrescentarem informações sobre a forma tridimensional do pé, como a pronação e o alinhamento dos ossos, que não podem ser representados através das medidas convencionais. De acordo com Mochimaru & Kouchi (1997), se as características morfológicas do pé forem quantificadas e sua variação conhecida, estes fatores podem ser introduzidos na

concepção e na modificação das formas dos calçados, visando um calce mais apropriado. Os resultados encontrados por Kouchi (1995) mostram uma correlação muito baixa entre os valores dos ângulos de flexão do eixo médio e o comprimento e largura do pé. O autor coloca que este fato evidencia a importância dos ângulos de flexão do eixo médio do pé como indicadores de características morfológicas do mesmo.

A partir das colocações anteriores e considerando necessidades reais de grupos de pesquisa, o objetivo deste trabalho foi a implementação de um aplicativo para a determinação dos ângulos de flexão do eixo médio do pé humano baseado no processamento digital de imagens, fundamentado nos estudos de Mochimaru & Kouchi (1997).

### **Implementação do Aplicativo**

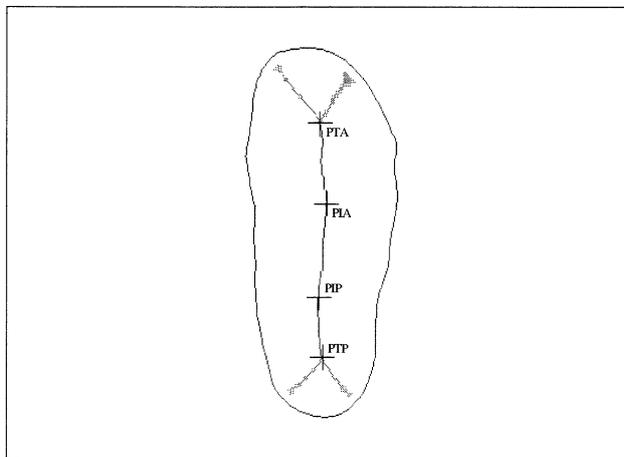
Antes da implementação de qualquer aplicativo é fundamental a definição de algumas diretrizes que nortearão o desenvolvimento do processo. É preciso conhecer as necessidades existentes, quais os resultados desejados, a que plataformas e a que tipo de usuário se destina e quais as ferramentas disponíveis. A partir destas averiguações torna-se possível definir as características e particularidades do sistema, sua estrutura e os algoritmos a serem utilizados. As funções básicas do aplicativo são a determinação dos ângulos de flexão anterior e posterior do eixo médio do pé e o armazenamento dos dados em arquivos portáteis para aplicativos externos, tais como gerenciadores de banco de dados, aplicativos estatísticos e planilhas de cálculo, entre outros. Paralelamente à determinação dos ângulos de flexão o aplicativo possibilita também a determinação da área da projeção do pé.

Além destas funções básicas, outro aspecto levado em consideração diz respeito às imagens que podem ser utilizadas. Dentre os diversos formatos existentes foram escolhidos o formato GIF e o formato JPG. Estes dois tipos de arquivo de imagem apresentam uma alta taxa de compressão de dados, o que resulta em arquivos menores e, conseqüentemente, economia de espaço de armazenamento em disco, fator importante quando o volume de processamento é grande. Soma-se a isto o fato de que são formatos bastante difundidos, disponíveis na grande maioria de editores gráficos e aplicativos de apoio que acompanham os equipamentos de aquisição digital de imagens. Isto não impõe restrições na forma de obtenção das mesmas. Qualquer equipamento pode ser utilizado, bastando que o resultado final seja um arquivo no formato GIF ou JPG.

Os ângulos de flexão anterior e posterior do eixo médio do pé são considerados por Kouchi & Tsutsumi (1996) como importantes ferramentas para a análise da forma do pé humano. Em seu estudo, os autores relacionaram o eixo médio

do pé com sua forma, concluindo, entre outras coisas, que um das características do pé plano é um elevado valor para o ângulo de flexão posterior. Mochimaru & Kouchi (1997) desenvolveram uma metodologia para a determinação automática dos ângulos de flexão do eixo médio do pé, a partir da digitalização, por meio de um *scanner*, do seu contorno traçado sobre uma folha de papel por meio de um traçador adequado. O principal problema observado neste método é o traçado do contorno do pé, uma operação feita manualmente pelo avaliador. Como há contato direto do traçador com o pé, podem ser introduzidos erros provocados pela deformação do tecido, de acordo com a força aplicada.

Com o sistema implementado, o contorno do pé é extraído diretamente da imagem do mesmo, usando-se o processamento digital. A partir do contorno, após um ajuste na região dos dedos, é feita a determinação do eixo médio do pé. Este eixo é obtido por meio de uma técnica de processamento de imagens conhecida como esqueleto, descrita por Brigger (1995). O eixo médio do pé tem uma forma característica, com uma porção central, normalmente com dois pontos de inflexão, bifurcada nas extremidades. A seguir, são determinados o ponto triplo anterior (ponto onde o eixo médio bifurca-se na região anterior do pé), o ponto triplo posterior, (ponto onde o eixo médio bifurca-se na região posterior do pé), o ponto de inflexão anterior (ponto de inflexão da porção central do eixo médio na região anterior do pé) e o ponto de inflexão posterior (ponto de inflexão da porção central do eixo médio na região posterior do pé). Estes pontos dividem a porção central do eixo médio do pé em três partes, a partir das quais são calculados os ângulos de flexão anterior e posterior. A Figura 1 mostra o contorno de um pé com o eixo médio e os quatro pontos acima descritos.



**Figura 1.** Contorno de um pé com o eixo médio, o ponto triplo anterior (PTA), o ponto triplo posterior (PTP), o ponto de inflexão anterior (PIA) e o ponto de inflexão posterior (PIP).

Conforme já citado anteriormente, é importante sabermos quem serão os usuários finais. Para que o aplicativo seja realmente operacional, sua utilização deve ser possível mesmo por usuários sem um conhecimento detalhado das suas características intrínsecas. Neste sentido, deve ter uma interface amigável e intuitiva ou auto-explicativa e deve também contar com mecanismos de controle e segurança que limitem erros de operação. Tendo em mente esta preocupação, o mesmo foi implementado em um ambiente gráfico baseado em janelas. Quanto à plataforma de utilização, em sua implementação atual está otimizado para o ambiente Windows, com resolução de tela de 1024x768 pixels.

Devido às características do aplicativo, para o seu desenvolvimento foi escolhida a linguagem IDL, por ser uma linguagem extremamente poderosa em se tratando de operações com imagens. Isto leva à elaboração de códigos relativamente compactos e enxutos, menores dos que seriam necessários utilizando-se outras linguagens de programação. A implementação foi feita na versão 5.0.2 desta linguagem.

As imagens utilizadas para a determinação dos ângulos de flexão do eixo médio precisam passar por um processamento prévio, com a finalidade de alinhar o eixo longitudinal do pé (a linha que une a extremidade posterior do calcânhar à extremidade do dedo II) com o eixo vertical do sistema de coordenadas da imagem. Isto é necessário devido ao algoritmo empregado para a obtenção dos ângulos de flexão.

A interface do aplicativo, mostrada na Figura 2, dispõe de três janelas gráficas: duas de 240x480 pixels, localizadas nas laterais, e uma de 240x240 pixels, localizada na parte central. Na janela esquerda é exibida a imagem do pé que está sendo processado e na janela direita é exibido o contorno detectado pelo programa. Na parte central da tela, além da terceira janela gráfica, existem os botões **Recortar**, **Corrigir**, **Zoom**, **Continuar** e **Cancelar** e uma barra de rolagem, que permite o ajuste do contorno. Na realidade, a movimentação do cursor da barra de rolagem altera o valor de um parâmetro utilizado pelo aplicativo para detectar o contorno do pé. Este ajuste é interativo: a medida que o cursor é movimentado para a esquerda ou para a direita o contorno do pé é imediatamente atualizado. O contorno também é exibido na janela da esquerda, sobre a imagem do pé, permitindo um melhor controle do ajuste da barra de rolagem.

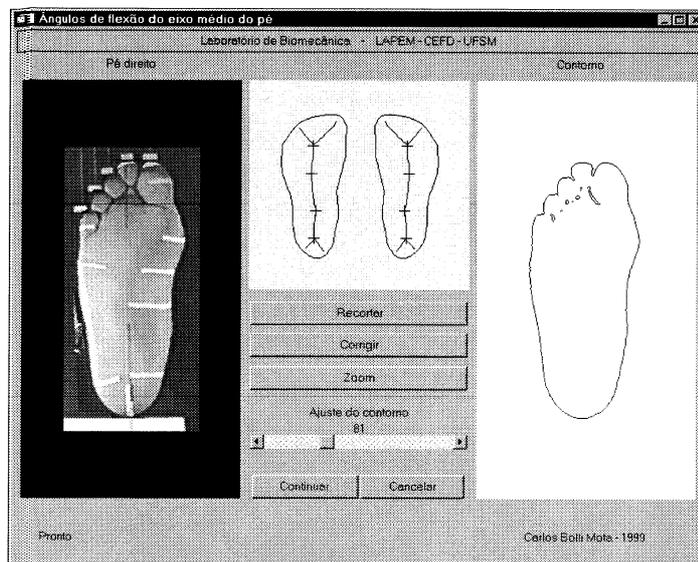


Figura 2.

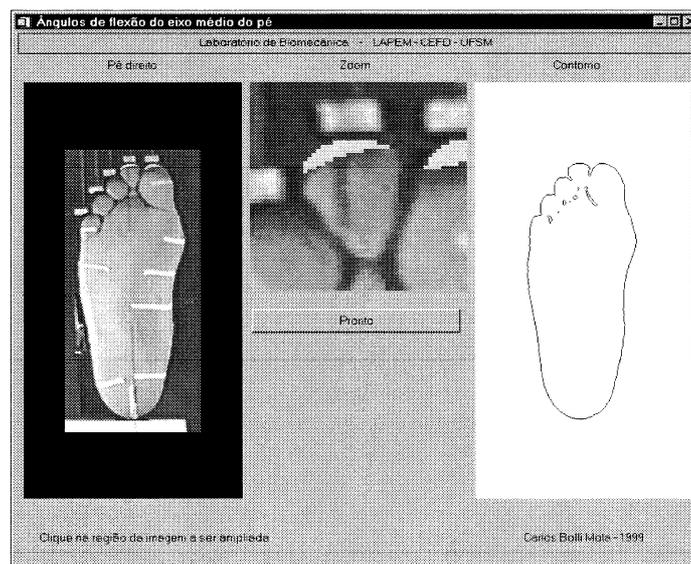
Interface do aplicativo para a determinação dos ângulos de flexão do eixo médio do pé.

Para a detecção do contorno, a partir do ponto central da imagem são identificados todos os pixels cujo valor seja igual ou superior ao limite definido na barra de rolagem. O limite inicial apresentado é a média dos valores dos pixels localizados em uma área de 10x10 pixels no centro da imagem. A seguir é criada uma matriz auxiliar com as mesmas dimensões da imagem, na qual a todos os elementos correspondentes aos pixels identificados é atribuído o valor 255 e aos demais o é atribuído valor 0. Sobre esta matriz é aplicada uma rotina de detecção de contornos que retorna uma nova matriz contendo o contorno identificado.

Os botões **Recortar** e **Corrigir** acessam rotinas que têm funções semelhante, permitindo a modificação de partes da imagem que porventura apresentem irregularidades ou problemas de contraste. A diferença entre elas reside no fato que a operação de recortar utiliza pixels pretos para a modificação e a operação de corrigir utiliza pixels cinza-claro. Quando um destes dois botões é pressionado, eles, os botões **Zoom**, **Continuar** e **Cancelar** e a barra de rolagem desaparecem, e o sistema solicita que o usuário posicione o cursor do *mouse* próximo à região a ser modificada e pressione o botão esquerdo. As operações de recortar e corrigir somente são possíveis na imagem do pé exibida na janela esquerda. Uma região de 48x48 pixels ao redor do ponto digitalizado é retirada da imagem, aumentada cinco vezes e exibida na janela gráfica central. A seleção da parte da imagem a ser modificada é feita com o *mouse*, na janela central. Cada clique com botão esquerdo define um vértice do polígono que delimita a região a ser modificada e um clique

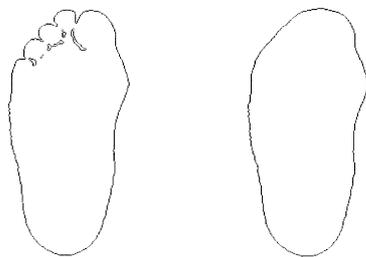
com botão direito o fecha. Após fechado o polígono, a área selecionada é substituída por pixels pretos ou brancos, conforme a ação seja recortar ou corrigir, e são mostrados os botões **Pronto** e **Cancelar**. O botão **Pronto** aceita as modificações feitas e o **Cancelar** as descarta. Em ambos os casos, a janela gráfica central é apagada e os botões **Recortar**, **Corrigir**, **Zoom**, **Continuar** e **Cancelar**, bem como a barra de rolagem, são reexibidos.

O botão **Zoom** tem ação em parte semelhante. No momento em que ele é pressionado, os botões **Recortar**, **Corrigir**, **Zoom**, **Continuar** e **Cancelar** e a barra de rolagem desaparecem e o aplicativo solicita que o usuário posicione o cursor do *mouse* próximo à região a ser ampliada e pressione o botão esquerdo. O sistema permite zoom tanto na janela gráfica esquerda como na janela gráfica direita. Após a imagem aumentada ter sido exibida fica disponível o botão **Pronto**, cuja ação é o apagamento da janela gráfica central e a reexibição dos botões **Recortar**, **Corrigir**, **Zoom**, **Continuar** e **Cancelar** e da barra de rolagem. Enquanto o botão **Pronto** não for pressionado o recurso de zoom continua disponível, sendo possível a visualização de novas áreas da imagem. Para isto, basta posicionar o cursor sobre região desejada e pressionar o botão esquerdo do *mouse* ou, mantendo-o pressionado, arrastar o cursor sobre a imagem. Neste caso, a imagem na janela central é constantemente atualizada. A Figura 3 ilustra a utilização do zoom.



**Figura 3.** Utilização do zoom em uma imagem corrigida.

O botão **Continuar** inicia o processo de determinação dos ângulos de flexão anterior e posterior do eixo médio do pé e da área da projeção do pé, conforme procedimento descrito a seguir, e o botão **Cancelar** encerra o aplicativo. O processo de determinação dos ângulos de flexão exige que a região dos dedos, pela sua forma complexa, seja simplificada. Isto é feito com a intervenção do usuário, que precisa digitalizar pontos nas extremidades dos dedos. Estes pontos, em número de cinco e que não são necessariamente os mesmos empregados para a determinação dos comprimentos, são digitalizados na janela direita diretamente sobre o contorno do pé. Caso a digitalização não seja feita exatamente sobre o contorno o aplicativo identifica sobre o mesmo, paralelamente ao eixo do pé, o ponto mais próximo e considera este como o ponto digitalizado. A ordem de digitalização é do dedo V para o dedo I e, após a digitalização do quinto ponto, uma curva é ajustada sobre eles e o contorno dos dedos é modificado, conforme observa-se na Figura 4.



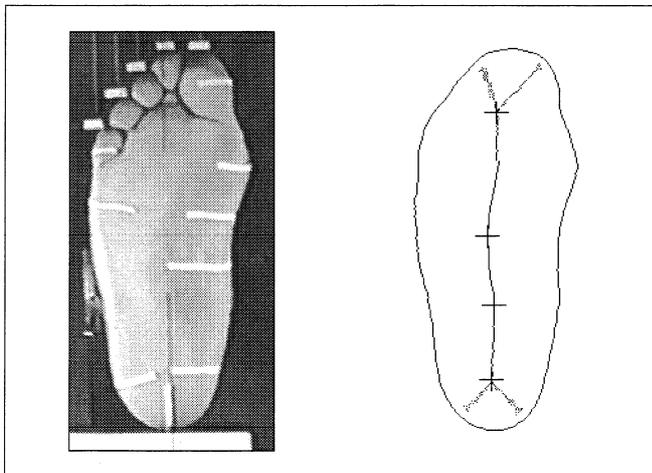
**Figura 4.**  
Modificação do contorno da  
região anterior do pé.

A partir deste contorno simplificado o aplicativo determina a área da projeção do pé. Sobre ele é aplicado um processamento chamado esqueleto, como sugerem Mochimaru & Kouchi (1997), através do qual é determinado o eixo médio do pé. Sobre ele são determinados, de forma automática, os quatro pontos de interesse já citados anteriormente: o ponto triplo anterior, o ponto triplo posterior, o ponto de inflexão anterior e o ponto de inflexão posterior. Estes pontos dividem o eixo médio em três partes: anterior, central e posterior.

Considerações detalhadas sobre o esqueleto são encontradas em Brigger (1995) e o mesmo pode ser resumidamente definido como o lugar geométrico dos pontos equidistantes do contorno em duas direções quaisquer. Este conceito traz algumas dificuldades de implementação, pois em torno de um ponto são possíveis infinitas direções. Na presente versão o sistema verifica se um pixel pertence ou não ao esqueleto utilizando apenas as direções horizontal e vertical. O esqueleto obtido a partir do contorno é o eixo médio do pé e o algoritmo empregado faz com que sua porção central contenha apenas um elemento em cada linha da matriz que o representa.

O ponto triplo anterior é determinado pela interseção dos dois ramos anteriores do eixo médio com a parte central do mesmo. De forma semelhante, o

o ponto triplo posterior é determinado pela interseção dos dois ramos posteriores com a parte central do eixo médio. A identificação destes pontos é feita por meio de uma varredura, linha a linha, da porção central do eixo médio, realizada do centro para ambas as extremidades. Como esta porção é constituída de apenas um elemento por linha, no momento em que dois ou mais forem encontrados a varredura encerra-se e o último ponto único identificado é considerado o ponto triplo anterior ou posterior, conforme o caso. O ponto de inflexão anterior é determinado pela média ponderada das coordenadas dos pontos situados entre um terço e dois terços do comprimento do eixo do pé, cujas coordenadas horizontais estejam compreendidas entre o valor mínimo e o valor mínimo mais dois pixels. Finalmente, o ponto de flexão posterior é definido como o ponto do eixo médio correspondente à terça parte do comprimento do eixo do pé, medida a partir do calcanhar. Conforme citado anteriormente, estes pontos definem as partes anterior, central e posterior do eixo médio do pé. Para cada uma destas partes é calculada uma equação de regressão linear, obtendo-se assim três retas que representam o eixo médio: uma reta anterior, uma reta central e uma reta posterior. A partir delas são calculados os dois ângulos de flexão. O ângulo de flexão anterior é o menor ângulo entre a reta central e a reta anterior e o ângulo de flexão posterior é o menor ângulo entre a reta central e a reta posterior. Os ângulos são positivos quando medidos no sentido anti-horário a partir da reta central, e negativos quando medidos no sentido horário a partir da mesma reta. A Figura 5 mostra a imagem original de um pé e o respectivo contorno com o eixo médio e a identificação do ponto triplo anterior, ponto triplo posterior, ponto de inflexão anterior e ponto de inflexão posterior.



**Figura 5.**  
Imagem original do pé e contorno com o eixo médio.

Após a determinação dos ângulos de flexão, seus valores são apresentados na parte inferior esquerda da tela, juntamente com o valor da área da projeção. Na janela gráfica direita, junto com o contorno do pé, é exibido o eixo médio com os quatro pontos acima descritos identificados e, na parte central da tela, são apresentados os botões **Salvar**, **Salvar como**, **Salvar imagem** e um quarto, cuja função depende da situação. Os botões **Salvar** e **Salvar como** são utilizados para armazenar em disco os valores obtidos e têm as mesmas funções encontradas em diversos aplicativos. **Salvar como** permite a qualquer momento a escolha de um novo nome de arquivo e/ou de um novo diretório e **Salvar** atualiza sempre o mesmo arquivo no mesmo diretório. Quando o arquivo é salvo pela primeira vez, a operação salvar equivale à operação salvar como. O botão **Salvar imagem** permite a gravação da imagem exibida na janela esquerda. Se apenas um dos pés estiver sendo processado o quarto botão apresentado é o botão **Pronto**, que, pressionado, encerra o aplicativo. Se os dois pés estiverem sendo processados, ao término da determinação dos ângulos de flexão do pé direito é apresentado o botão **Pé esquerdo**, que, pressionado, dá início ao processamento do pé esquerdo, com a exibição da imagem do pé na janela gráfica esquerda, do contorno do mesmo na janela gráfica direita e a reexibição dos botões **Recortar**, **Corrigir**, **Zoom**, **Continuar** e **Cancelar** e da barra de rolagem para ajuste do contorno (Figura 2). Ao término do processamento do pé esquerdo são exibidos os botões **Salvar**, **Salvar como**, **Salvar imagem** e **Pronto**. Em qualquer das situações (processamento de apenas um pé ou processamento dos dois pés), se o botão **Pronto** for pressionado sem que os dados tenham sido salvos, o que causaria a perda dos mesmos em virtude do encerramento do aplicativo, uma mensagem é emitida alertando para este risco.

### **Avaliação do aplicativo**

Os ângulos de flexão anterior e posterior não são definidos por referências anatômicas do pé mas sim determinados a partir de retas ajustadas sobre porções do seu eixo médio que, por sua vez, não tem existência concreta. Conseqüentemente, não é possível medi-los diretamente sobre o pé ou sobre imagens do mesmo, o que inviabiliza a comparação dos valores obtidos por intermédio do sistema ora proposto com valores de referência que possam ser considerados como os mais corretos. A comparação com resultados obtidos utilizando-se a metodologia proposta por Mochimaru & Kouchi (1997) foi descartada, uma vez que a maneira de obtenção do contorno do pé é diferente e, por depender totalmente da intervenção humana, mais sujeita a erros. Por este motivo, a avaliação do processo de sua determinação foi realizada pela comparação entre os valores obtidos pelo mesmo usuário utilizando dois procedimentos distintos e entre os valores obtidos por diferentes usuários

utilizando o mesmo procedimento. O processo de determinação da área da projeção do pé foi avaliado da mesma maneira.

A determinação dos ângulos de flexão do eixo médio e da área da projeção do pé depende do contorno extraído de uma imagem. Na implementação atual, a extração deste contorno envolve a intervenção do usuário em dois momentos distintos: quando seleciona visualmente o contorno que melhor se ajusta à imagem observada, por meio da movimentação do cursor da barra de rolagem de ajuste (Figura 2) e, posteriormente, quando digitaliza os pontos nas extremidades dos dedos para a modificação do contorno da região anterior do pé. Repetindo o ajuste da barra de rolagem, indicado por um número, é possível a obtenção do mesmo contorno (sem a modificação da região dos dedos) em sucessivas determinações sobre a mesma imagem.

Isto permitiu a definição de dois procedimentos de extração do contorno do pé. O primeiro, denominado **procedimento 1**, consistia na seleção de diferentes contornos a cada repetição e, para que o usuário não fosse induzido a fazer o mesmo ajuste da barra de rolagem, o código do aplicativo foi modificado, suprimindo a exibição do número indicativo. No segundo procedimento, a indicação numérica da barra de rolagem foi mantida, permitindo que o usuário selecionasse o mesmo contorno em sucessivas repetições. Entretanto, a cada repetição era necessário digitalizar novamente os cinco pontos utilizados para a modificação da região dos dedos. Este procedimento foi identificado como **procedimento 2**.

Os resultados obtidos pelo mesmo usuário utilizando os dois procedimentos foram comparados entre si, procurando identificar possíveis diferenças causadas pelas diferentes maneiras de determinar o contorno do pé, e, para analisar a variabilidade entre sujeitos, foram comparados os resultados obtidos por cinco usuários utilizando o **procedimento 1**. Cada usuário, bem como o mesmo usuário empregando cada um dos procedimentos, realizou quinze determinações dos ângulos de flexão e da área da projeção, a partir da mesma imagem. As determinações foram feitas apenas no pé direito. As Tabelas 1 e 2 apresentam a média e o desvio padrão dos resultados obtidos. Para as comparações foram utilizados o teste t, a análise de variância e o teste de Tukey, e as diferenças foram consideradas estatisticamente significativas quando a probabilidade foi menor que 1,00% ( $p < 0,01$ ). Também foi feita uma análise do comportamento do coeficiente de variação em função do número de repetições das determinações.

**Tabela 1.** Média e desvio padrão dos ângulos de flexão anterior (afa) e posterior (afp) do eixo médio e da área da projeção do pé utilizando os procedimentos 1 e 2 (n = 15).

dimensão	procedimento 1		procedimento 2	
	média <sup>1</sup>	desvio padrão <sup>1</sup>	média <sup>1</sup>	desvio padrão <sup>1</sup>
afa	8,45	0,416	8,09	0,333
afp	9,07	0,526	8,85	0,235
área	191,82	0,402	191,21	0,189

<sup>1</sup> Ângulos expressos em graus e área expressa em cm<sup>2</sup>.

O teste t identificou diferenças estatisticamente significativas apenas entre as médias das áreas determinadas pelos dois procedimentos, explicadas em parte pela baixa dispersão dos dados. Os ângulos de flexão não foram considerados estatisticamente diferentes, mas observou-se uma tendência de menor dispersão dos dados obtidos com o **procedimento 2**. Este resultado era esperado, uma vez que este procedimento eliminou uma das causas da variabilidade, que é a seleção do contorno que melhor se ajusta à imagem.

Os mesmos cinco sujeitos que fizeram as medidas para a avaliação do processo de medição determinaram os ângulos de flexão e a área da projeção do pé usando o procedimento 1. A média e o desvio padrão dos resultados obtidos estão mostrados na Tabela 2. A análise de variância não mostrou diferenças estatisticamente significativas entre os valores dos ângulos, mas foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as áreas determinadas pelos sujeitos 1 e 3, 2 e 3, 3 e 4 e 3 e 5. A diferença entre a maior média, obtida pelo usuário 1, e a menor, obtida pelo usuário 3, foi 2,28 cm<sup>2</sup> e o maior desvio padrão foi observado nos dados obtidos pelo usuário 3.

Com relação ao processo de determinação da área da projeção do pé, os resultados apontam para a existência de alguma variabilidade entre sujeitos, o que, como já comentado anteriormente, é esperado em procedimentos que envolvem a intervenção humana. No entanto, acredita-se que a variabilidade deva ser menor entre usuários treinados no uso do sistema. Maiores averiguações precisam ser feitas neste sentido.

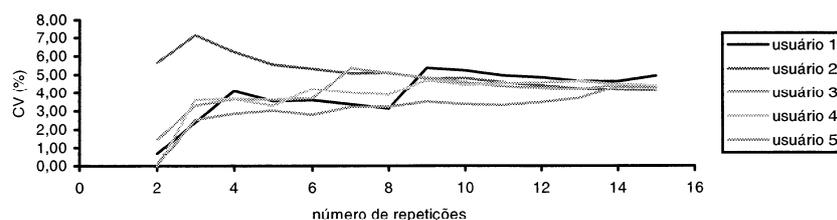
**Tabela 2.** Média e desvio padrão (dp) dos ângulos de flexão anterior (afa) e posterior (afp) do eixo médio e da área da projeção do pé obtidas por diferentes usuários utilizando o procedimento 1 (n = 15).

dimensão	usuário 1		usuário 2		usuário 3		usuário 4		usuário 5	
	média <sup>1</sup>	dp <sup>1</sup>								
afa	8,45	0,416	8,13	0,355	8,17	0,351	8,10	0,348	8,06	0,355
afp	9,07	0,526	8,81	0,201	8,82	0,193	8,82	0,214	8,88	0,231
área	191,82	0,402	191,23	0,128	189,54	1,766	190,61	0,649	190,97	0,207

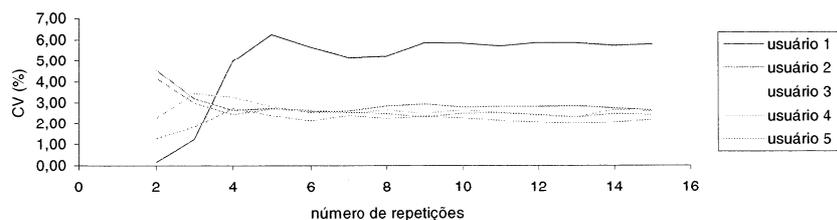
<sup>1</sup> Ângulos expressos em graus e área expressa em cm<sup>2</sup>.

Complementando a avaliação do processo de determinação dos ângulos de flexão do eixo médio e da área da projeção do pé, procedeu-se uma análise do comportamento do coeficiente de variação dos dados em função do número de repetições, na tentativa de identificar uma tendência de estabilização do seu valor. As Figuras 6, 7 e 8 mostram os gráficos obtidos com os dados obtidos pelos cinco usuários na determinação dos ângulos de flexão e da área da projeção do pé.

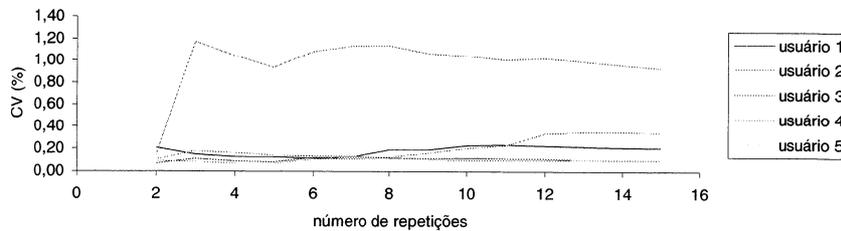
**Figura 6.** Coeficiente de variação dos valores obtidos para o ângulo de flexão anterior do eixo médio do pé em função do número de repetições.



**Figura 7.** Coeficiente de variação dos valores obtidos para o ângulo de flexão posterior do eixo médio do pé em função do número de repetições.



**Figura 8.** Coeficiente de variação dos valores obtidos para a área da projeção do pé em função do número de repetições.



A análise destes gráficos mostra que, de forma semelhante ao observado com as dimensões, houve uma tendência de estabilização do coeficiente de variação após cerca de cinco repetições. O valor do coeficiente de variação das medidas do ângulo de flexão anterior estabilizou-se num valor próximo a 5,00%, comportamento observado com todos os usuários. Já o coeficiente de variação das medidas do ângulo de flexão posterior, apesar de também ter se estabilizado após aproximadamente cinco repetições, apresentou valores distintos para o usuário 1. Para os outros quatro usuários seu valor estabilizou-se próximo a 2,50%, ao passo que para o usuário 1 a estabilização ocorreu perto de 6,00%. Com relação à área da projeção, o coeficiente de variação manteve-se na faixa de 0,20% para os usuários 1, 2, 3 e 4, apresentando comportamento discrepante apenas para o usuário 5, situação em que a estabilização ocorreu aproximadamente em 1,00%. Os valores do coeficiente de variação da área da projeção do pé foram baixos, mas os valores mais elevados observados nos dois ângulos de flexão, principalmente no ângulo de flexão anterior, sugerem que se trabalhe com a média de cinco determinações destas medidas.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que o aplicativo proposto mostrou-se adequado para a obtenção dos ângulos de flexão do eixo médio e da área da projeção do pé. O mesmo apresentou boa reprodutibilidade, com baixa variabilidade entre sucessivas repetições, a variabilidade entre usuários sem experiência no seu uso foi baixa e o coeficiente de variação das medidas também manteve-se baixo, havendo uma tendência de estabilização após aproximadamente cinco repetições.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMADIO, A. C. & DUARTE, M. **Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento**. São Paulo: Laboratório de Biomecânica/EEFUSP, 1996.

B RIGGER, P. Morphological shape representation: the skeleton. [http://www.epfl.ch/pub\\_files/brigger/thesis\\_html/](http://www.epfl.ch/pub_files/brigger/thesis_html/). 1995.

KOUCHI, M. Analysis of foot shape variation based on the medial axis of foot outline. **Ergonomics**. vol. 38, n. 9. Taylor & Francis, 1995, pp. 1911-1920.

KOUCHI, M. & TSUTSUMI, E. Relation between the medial axis of the foot outline and 3-D foot shape. **Ergonomics**. vol. 39, n. 4. Taylor & Francis, 1996, pp. 853-861.

MANFIO, E. F. & AVILA, A. O. V. A influência de perfis diferenciados, dentro de uma mesma numeração, na qualidade do calçado. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Campinas, 1997, pp. 305-309.

MOCHIMARU, M. & KOUCHI, M. Automatic calculation of the medial axis of foot outline and its flexion angles. **Ergonomics**. vol. 40, n. 4. Taylor & Francis, 1997, pp. 450-464.

RESEARCH SYSTEMS, INC. **IDL user's guide**. Boulder, 1995.