

# EMPREGO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE IMAGENS NA DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO E DA LARGURA DE SEMENTES DE MILHO<sup>1</sup>

PEDRO ABEL VIEIRA-JUNIOR<sup>2</sup>, SILVIO MOURE CIGERO<sup>3</sup>, LUCIO ANDRÉ DE CASTRO JORGE<sup>4</sup>, LUIZ CARLOS MIRANDA<sup>5</sup>, DURVAL DOURADO-NETO<sup>6</sup>, CARLOS TADEU DOS SANTOS DIAS<sup>7</sup> E WALTER RODRIGUES DA SILVA<sup>6</sup>

**RESUMO** - Apesar de importantes para a semeadura, notadamente em semeadoras de precisão, há carência de padrões oficiais mais específicos para a classificação de sementes de milho, principalmente em relação ao comprimento. Provavelmente a carência advém da inexistência de métodos práticos, exatos e repetitivos para medir as sementes. Oito amostras de lotes de sementes foram submetidas ao teste de retenção de peneiras e longuímeter. Em amostras de sementes retidas pelas peneiras e determinadas pelo longuímeter, foram determinadas as dimensões de comprimento e largura empregando-se o projetor de perfil. A seguir, foram comparadas às medidas determinadas com o projetor de perfil, com e entre si, as medidas determinadas pelos métodos tradicionais e as medidas estimadas, com emprego do sistema SIARCS 3.0<sup>®</sup>, em imagens digitalizadas nas resoluções de 100, 150, 200 e 250 ppi com as sementes em várias ordenações. Foram estudados os seguintes parâmetros e procedimentos: resolução de digitalização da imagem, tamanho da amostra em função da precisão requerida, procedimento computacional (método do retângulo circunscrito e da elipse que melhor representa o objeto) e disposição das sementes durante a digitalização das imagens (posição dorsal e ventral, e disposição). Em função da adequação dos parâmetros e dos procedimentos estudados, concluiu-se que o emprego da técnica de análise de imagens é viável para determinar o comprimento e a largura de sementes de milho, apresentando alta precisão e exatidão satisfatória, bem como vantagens adicionais em relação aos métodos tradicionais.

Termos para indexação: *Zea mays*, análise de imagens, modelos, técnicas de medição.

## IMAGE ANALYSIS TECHNIQUE UTILIZATION TO ESTIMATE THE LENGTH AND THE WIDTH IN CORN SEEDS

**ABSTRACT** - In spite of important for the sowing, mostly in precision drills, there is lack of more specific official patterns for the classification of corn seeds, mainly in relation to the length. Probably the lack of an official pattern is due to an absence of practical, exact and repetitive methods to measure the seeds. Samples of eight corn seed lots were submitted to retention sieve test and to a practical test used to measure seed length (longuímeter). In samples of seeds retained by the sieves and measured by the longuímeter, the length and width dimensions were measured being used the profile projector, a measuring instrument known by its precision and accuracy. The measures determined with profile projector were compared, with and among themselves, to the respective measures determined with methods traditionally utilized to evaluate the classification of corn seeds and to the measures estimated applying the SIARCS 3.0<sup>®</sup> software in images of seeds made in resolutions of 100, 150, 200 and 250 ppi, and with those seeds in different arrangements. The following parameters and procedures were studied: resolution of digitalization, size of the sample in function of the required precision, proceeding of the software (method of the bounded rectangle

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 26.12.99.

<sup>2</sup> Téc. Superior, EMBRAPA SPSB, Gerência Local de Sete Lagoas, Cx. Postal 151, 35701-970, Sete Lagoas-MG.

<sup>3</sup> Prof. Titular, Depto. de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Cx. Postal 9, 13418-900, Piracicaba-SP; bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Pesquisador, EMBRAPA Instrumentação, Cx. Postal 133, 69301-970, São Carlos-SP.

<sup>5</sup> Pesquisador, EMBRAPA SPSB, Cx. Postal 231, 86001-970, Londrina-PR.

<sup>6</sup> Prof. Dr., Depto. de Produção Vegetal, ESALQ/USP; bolsista do CNPq.

<sup>7</sup> Prof. Dr., Depto. de Ciências Exatas, ESALQ/USP.

and of the ellipse that best represents the object) and arrangements of the seeds during the digitalization of the images (dorsal and ventral position, and disposition). In function of the adaptation of the parameters and of the studied procedures, it was concluded that the image analysis technique is viable to estimate measures of length and width in corn seeds, presenting high precision and satisfactory accuracy, as well as additional advantages in relation to the traditional methods.

Index terms: *Zea mays*, image analysis, models, measurement.

## INTRODUÇÃO

A população de plantas e a sua distribuição espacial por unidade de área, são importantes componentes de produção na cultura do milho (Fancelli & Dourado-Neto, 1996) afetados pela distribuição de sementes proporcionada pelos sistemas dosadores das semeadoras (Chinnan et al., 1975). O sistema dosador de discos perfurados, predominante no Brasil, atua através de disco, com crivos localizados concentricamente na sua borda que, durante o movimento de rotação, promove o alojamento das sementes nos orifícios (Balastreire, 1990). As capturas múltipla ou nula de sementes pelos crivos, decorrentes da classificação deficiente das sementes ou da inadequada escolha do disco, são causas de desuniformidade na distribuição das sementes (Chinnan et al., 1975).

A Física, ciência reconhecida como exata, não explicita definição para dimensão; assume, por este motivo, conceitos, pragmaticamente aceitos, baseados em comparações como, por exemplo, de que um metro é igual a 1.650.763,73 comprimentos de onda da luz vermelha alaranjada do Criptonio-86. Portanto, as medidas estimadas ficam sujeitas aos erros de precisão e, conseqüentemente, de exatidão (Sears & Zemansky, 1980).

Casillas (1979) comenta ser impossível realizar uma medição isenta de erros: a medida efetiva de um objeto difere mais ou menos de sua medida real e a esta diferença denomina-se incerteza de medida. Fatores ambientais que alterem as dimensões dos objetos, os fatores ligados ao instrumento de medição como a escala, o acoplamento ao objeto, o posicionamento do instrumento de medição em relação ao objeto e o desgaste do instrumento de medição contribuem para a incerteza da medida (Compain, 1974).

Para estimar a incerteza de medida de um instrumento de medição, medidas sucessivas são comparadas à obtida em instrumento de reconhecida precisão. Atualmente, os instrumentos de medição adotados como referência são os projetores de perfil. As medidas obtidas pelo instrumento a ser aferido são subtraídas das obtidas no instrumento de referência, aplicando-se às diferenças um teste estatístico, a exemplo do teste t de Student (Berndt, 1961); uma limitação do método é

a de não considerar o tamanho da amostra a ser tomada (Cochran, 1965; Spiegel, 1978 e McCuen, 1985).

Uma maneira para estimar o tamanho da amostra, representativa de uma população com distribuição normal, consiste em tomar uma amostra de indivíduos, estimar o desvio padrão, e aplicar o modelo matemático

$$n = \left( \frac{t_{(\alpha/2, \varphi)} \times S}{p} \right)^2$$

no qual: **n** é o tamanho da amostra necessária para representar a população com a precisão **p** em função do desvio padrão **S** e do valor tabelado **t** ( $t_{(\alpha/2, \varphi)}$ ),  $\alpha$  de significância para uma população com n-1 graus de liberdade ( $\varphi$ ) (Spiegel, 1978 e Fonseca & Martins, 1995).

O teste de retenção em peneiras (Brasil, 1992), utilizado oficialmente na avaliação da classificação das sementes de milho, apresenta limitações, principalmente, por não levar em consideração a dimensão de comprimento das sementes. Além disso, há dificuldades em relação à calibração dos crivos das peneiras utilizadas.

Para avaliação do comprimento em sementes de milho, a legislação brasileira não prescreve limites de tolerância e metodologia para sua determinação. Usualmente é realizada através de paquímetro, ficando a critério do executor o estabelecimento de limites de tolerância. Embora não existam resultados que permitam concluir sobre o teste, a princípio, parece estar sujeito a erros inerentes ao paquímetro e à forma da semente; além disso, o teste é moroso. Na falta de um teste oficial para essa avaliação, e considerando as restrições operacionais apresentadas pelo paquímetro, foi desenvolvido o longuímeter para medir o comprimento das sementes (EMBRAPA - SPSB, 1994).

Equipamentos e métodos tradicionais têm sido substituídos por sistemas de medição eletrônicos e técnicas para obtenção e análise de dados, como o processamento de imagens digitais (Assad & Sano, 1993 e Cruvinel et al., 1996). A digitalização de imagens pode ser feita com o emprego de "scanners" que, operando com uma fonte luminosa sob uma

superfície transparente, dispõe de lentes focalizadas em sensores (CCD) capazes de converter o impulso elétrico, oriundo da radiação refletida pelo objeto depositado sobre o vidro, em digital. "Scanners" trabalham com "pixels" quadrados e, portanto, a densidade de linhas lidas caracteriza a resolução de digitalização da imagem que, em geral, varia entre 75 e 300ppi (Day, 1997).

As imagens digitais, rotineiramente, são apresentadas nos formatos de oito e 24 bits resultando, respectivamente, em 256 e 16.777.216 cores, também denominadas por níveis de cinza (Ihrig & Ihrig, 1987). Convencionou-se representar as cores em imagem digital de oito bits, com níveis de cinza variando entre zero (preto) e 255 (branco) (Facon, 1996). O aumento da resolução de digitalização afeta a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento do equipamento; os sistemas de análise de imagens operam com resolução limitada, a exemplo do SIARCS 3.0<sup>®</sup> que apresenta 256 cores (Jorge et al., 1996). Em alguns casos, esta limitação pode ser contornada com a redução da resolução da imagem empregando "softwares", como o Corel Draw 6.0<sup>®</sup> (Day, 1997).

A análise de imagens tem sido empregada para avaliação de formas e dimensões de objetos (Pratt, 1978 e McDonald & Chen, 1990). O seu uso em sistemas radiculares constitui exemplo de aplicação do método na agricultura (Crestana et al., 1994), como é o caso do sistema computacional SIARCS 3.0<sup>®</sup>, capaz de realizar medidas quantitativas, como o comprimento, e dinâmicas, como a topologia e a arquitetura em sistemas radiculares (Jorge et al. 1996).

A binarização é técnica implementada no SIARCS 3.0<sup>®</sup>, que permite segmentar a imagem selecionando objetos de interesse. A técnica, empregando o filtro "thresholding", permite destacar da imagem "pixels" com base na avaliação do nível de cinza. Em uma palheta, que representa todas as cores contidas na imagem, são selecionadas as cores do objeto de interesse; estas, são substituídas por uma cor escolhida em uma palheta de cores própria. A seguir, procede-se a binarização propriamente dita, que consiste na transformação dos "pixels" selecionados para a cor preta (índice 1), e dos demais para a cor branca (índice zero) (Jorge et al., 1996). Como inconveniente da técnica destaca-se que, como a seleção é baseada em cores dos "pixels", são considerados todos os "pixels" portadores das cores escolhidas, inclusive os não pertencentes ao objeto desejado. Adicionalmente, como a imagem contém apenas as cores zero (fundo) e um (objetos), o sistema permite a seleção dos objetos identificando-os por índices entre 1 e 254, ou seja, os objetos são identificados por cores e o sistema permite selecionar até 254 objetos. O

algoritmo para seleção de objetos consiste em percorrer a imagem, a partir do ponto inferior esquerdo, até encontrar "pixel" de valor 1 (primeiro "pixel" do primeiro objeto) marcando-o com o valor 2. Dessa forma, a imagem é varrida atribuindo valor 2 a todos os "pixels" com valor 1 conectados a outro de valor 2. A seguir, o processo é repetido para os demais objetos, identificando-os com valores sucessivos.

A partir da seleção do objeto, da resolução da imagem e quantificação dos "pixels" do objeto, é possível estimar atributos do objeto, também chamados de momentos, a exemplo da área e dimensões. No sistema SIARCS 3.0<sup>®</sup> os momentos implementados foram a área do objeto, seu centro de massa, largura e comprimento do menor retângulo circunscrito ao objeto e a elipse que melhor representa o objeto.

O presente trabalho teve por objetivo definir os parâmetros e procedimentos necessários para o emprego da técnica de análise de imagens na determinação do comprimento e da largura de sementes de milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho, realizado no ano de 1997, utilizou as instalações do Laboratório de Análise de Imagens da EMBRAPA Instrumentação (São Carlos/SP), do Laboratório de Análise de Sementes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Piracicaba/SP) e do Laboratório de Metrologia do Serviço Nacional da Indústria (Piracicaba/SP).

Para definir os parâmetros e procedimentos necessários para o emprego da técnica de análise de imagens na determinação do comprimento e da largura de sementes de milho, foram estudados a resolução de digitalização, o tamanho da amostra em função da precisão requerida, o procedimento computacional (métodos do retângulo circunscrito e da elipse que melhor representa o objeto) e disposição das sementes durante a digitalização das imagens (posição dorsal e ventral, e disposição). Esses métodos foram comparados com e entre si, com um de medição reconhecidamente exato e preciso (projeto de perfil) e ainda com métodos tradicionalmente empregados na produção de sementes: paquímetro, teste de retenção em peneiras e longuímetro.

Foram utilizadas amostras de oito lotes de sementes de milho, variedade BR-201, previamente tratados com corante e classificados em máquinas de beneficiamento. Após a eliminação dos indivíduos com espessura superior a 14/64 de polegada, as sementes foram separadas por largura, através da ação de peneiras sucessivamente dispostas, com crivos de diâmetros decrescentes em intervalos de 2/64 de polegada, para aproveitamento dos indivíduos retidos nos crivos com

18/64, 20/64, 22/64 e 24/64 de polegada, denominados, respectivamente, de 18, 20, 22 e 24 (Mantovani et al., 1991). A seguir, cada fração selecionada por largura foi padronizada em dois comprimentos, utilizando cilindro alveolado com alvéolos de 28/64 de polegada de diâmetro, denominados de curto (C) e longo (L). Assim, foram obtidos os tamanhos 18C, 18L, 20C, 20L, 22C, 22L, 24C e 24L que, a seguir, foram reclassificados por largura em peneiras manuais com crivos indicados idênticos aos empregados na máquina de beneficiamento previamente usada. Das frações retidas em cada peneira manual, foram selecionadas 300 sementes que, após avaliação de comprimento pelo uso do longuímeter (EMBRAPA-SPSB, 1994), foram numericamente identificadas em sua face dorsal (D), lado oposto ao do embrião, e separadas em seis repetições com 50 sementes.

Foram determinados as dimensões (mm) do comprimento e da largura de cada semente, com os empregos de um projetor de perfil (marca Mitutoyo, modelo PJ-300H, equipado com

lente de aumento 10x) e de um paquímetro (marca Mitutoyo, modelo 530-104, com aproximação de 0,05mm e incerteza de medida de  $\pm 0,05\text{mm}$ ).

Adicionalmente, utilizando um "scanner" de mesa (marca Hewlett Packard, modelo Scanjet 4C) e um computador (padrão IBM-PC, com 32 MB de RAM e processador Pentium de 200 MHz) foram digitalizadas, em 24 bits (resoluções de 100, 150, 200 e 250 ppi) e salvas em arquivos no formato BMP, as sementes componentes das repetições. Para a digitalização, as sementes foram depositadas, desordenada (d) e ordenadamente (o) em cinco linhas e dez colunas, com exposições consecutivas das faces dorsal (D) e ventral (V), voltadas para o vidro do scanner (Figura 1). Durante a digitalização, o ambiente foi mantido sem iluminação procurando minimizar a presença de sombreamentos. Nas exposições com a face ventral voltada para o vidro, as imagens foram adicionalmente digitalizadas (75 ppi) e tiveram anotado, com emprego do "software" Corel Draw 6.0®, os números presentes na face

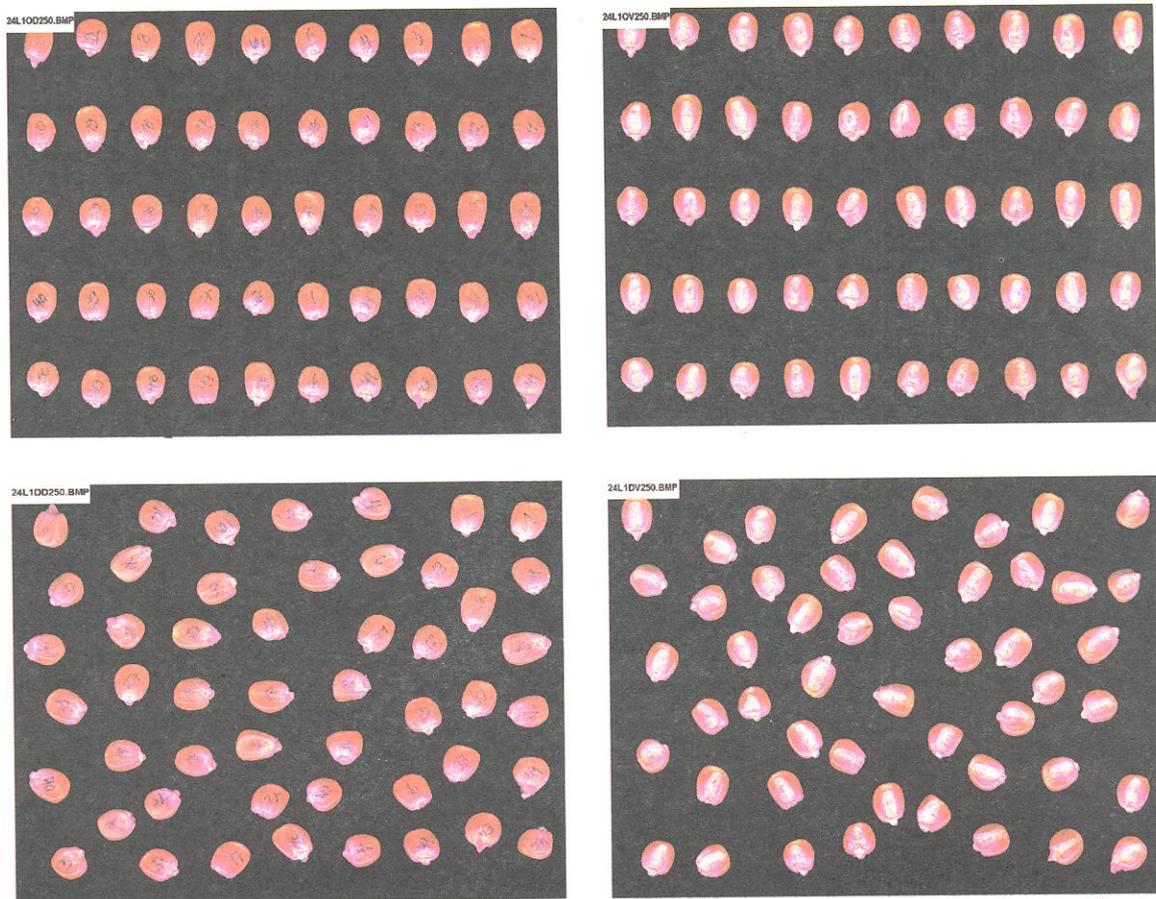


FIG. 1. Semente de milho peneira 24L, digitalizada na resolução de 200 ppi e 24 bits, na disposição ordenada (superior) e desordenada (inferior), com a face dorsal (esquerda) e ventral (direita) voltada para o vidro do "scanner". Piracicaba, São Paulo, 1997.

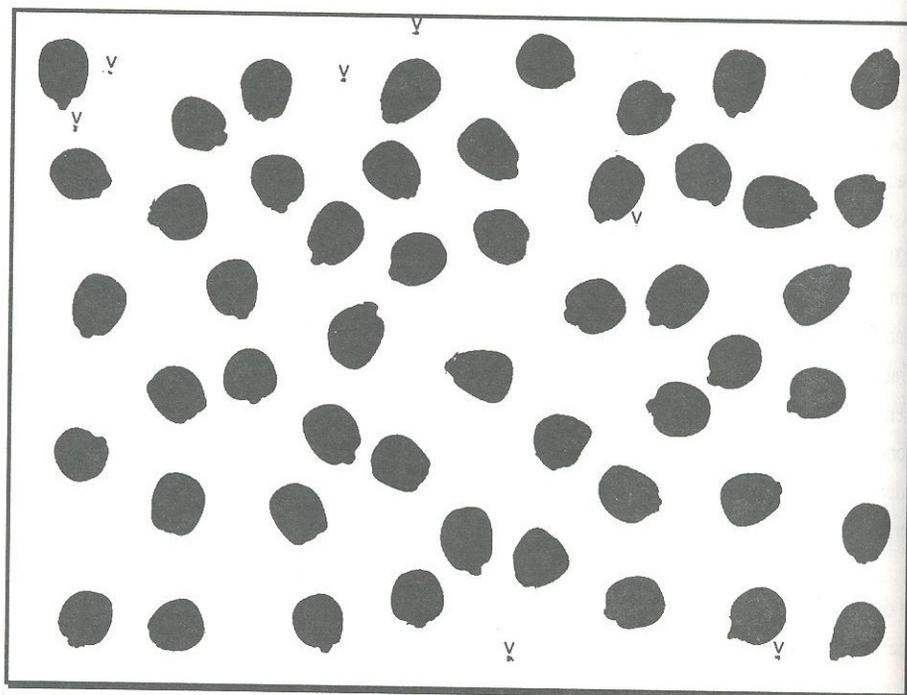
dorsal de cada semente. Ainda com o "software" Corel Draw 6.0®, as imagens foram convertidas para a resolução de oito bits, conforme procedimento descrito por Day (1997).

Com o emprego do filtro "thresholding" (sistema SIARCS 3.0®), foram destacadas, em cor amarela, as sementes contidas em cada imagem e, a seguir, binarizadas (Figura 2). Um problema foi a presença de resíduos destacados na imagem por apresentarem "pixels" de cores iguais aos selecionadas nas sementes; para ilustrar esse fato, a Figura 2 apresenta destacados (V) alguns dos resíduos binarizados que tiveram os momentos estimados requerendo a eliminação de seus dados nos relatórios gerados.

Após binarização das imagens e aplicação da ferramenta seleção de objetos (sistema SIARCS 3.0®), os objetos foram selecionados e aplicada à ferramenta de cálculo dos momentos área, centro, ângulo e dimensões dos objetos através dos modelos do menor retângulo circunscrito e da elipse que melhor representava o objeto. Através do momento centro do objeto e com o emprego do "software" Corel Photo Paint 6.0®, foi possível identificar a semente correspondente ao objeto.

As medidas em pixels foram convertidas, para milímetros, a partir do produto do número de "pixels" (maior e menor lado do retângulo) pelo fator de conversão da polegada americana para milímetros (25,4). No caso do modelo do menor retângulo circunscrito, os valores obtidos foram divididos pela resolução (ppi) de digitalização das imagens. Para o caso do modelo da elipse que melhor representava o objeto, as dimensões de comprimento e largura das sementes, em milímetros, foram estimadas a partir do dobro do produto do número de "pixels" (maior e menor eixos da elipse) pelo fator de conversão da polegada americana para milímetros (25,4), divididos pela resolução (ppi) de digitalização da imagem. Aplicando a rotina "proc univariate" (SAS, 1990) às diferenças de medidas das 300 sementes de cada amostra, foi determinadas a diferença de medida média e a significância (1%) quando observadas variações significativas em relação aos dados oriundos do projetor de perfil, considerando  $t_{(0,01/2, 299)}$ .

As larguras definidas nas peneiras manuais, depois de convertidas de polegada para milímetro, foram subtraídas das verificadas no projetor de perfil. Procedimento similar foi uti-



**FIG. 2.** Imagem digital (250 ppi e oito bits) binarizada, de sementes de milho, amostra 24L, desordenadas e com a face ventral voltada para o vidro do "scanner". Piracicaba, São Paulo, 1997.

lizado entre as medições do longuímetro e do projetor de perfil.

A técnica de contrastes ortogonais foi aplicada para verificar, em cada método de medição, se a média geral do método era composta por médias iguais entre si (Spiegel, 1978 e Fonseca & Martins, 1995) a 1% de significância. Quando houve essa ocorrência, o método foi considerado como preciso.

Aplicando a equação (1), descrita anteriormente, foi estimado, para cada lote, o tamanho da amostra necessária para representar a população com as precisões  $p$  de 0,01, 0,05 e 0,10mm, a 1% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se na Tabela 1 que as medidas de comprimento determinadas pelo Projetor de Perfil nas amostras 20C, 22C e 24C, encontram-se acima de 11,11mm, indicando que o longuímetro não foi eficiente nessa classificação. Por outro lado, as medidas de largura determinadas com o projetor de perfil, em todas as amostras, apresentam valores médios superiores ao do crivo da peneira empregada, indicando que as peneiras foram eficientes na classificação.

Com relação às médias das diferenças das medidas de comprimento (Tabela 2), verifica-se que o paquímetro apre-

**TABELA 1. Medidas (mm) de comprimento e de largura determinadas em sementes de milho, com os empregos do projetor de perfil (PP), do paquímetro (PA), do longuímeter (LG) e do crivo da peneira (PE). Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	Comprimento (mm)			Largura (mm)		
	PP	PA	LG	PP	PA	PE
18C	10,88	10,88	< 11,11	7,45	7,40	7,14
18L	13,40	13,28	> 11,11	7,59	7,46	7,14
20C	11,26	11,24	< 11,11	8,16	8,11	7,94
20L	13,59	13,58	> 11,11	8,22	8,21	7,94
22C	12,29	12,19	< 11,11	9,00	8,90	8,73
22L	12,98	12,83	> 11,11	8,99	8,90	8,73
24C	11,43	11,37	< 11,11	10,06	9,98	9,52
24L	12,03	11,99	> 11,11	9,80	9,80	9,52

**TABELA 2. Diferenças das medidas (mm) de comprimento (MComp) e de largura (MLarg) de sementes de milho, intervalos de confiança\* ( $IC_{(1;0,01)}$ ) e diferenças maiores do que zero\* ( $D_i > 0$ ) das determinações realizadas em paquímetro em relação às realizadas em projetor de perfil. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	Comprimento			Largura		
	Mcomp (mm)	$IC_{(1;0,01)}$ (mm)	$D_i > 0$	Mlarg (mm)	$IC_{(1;0,01)}$ (mm)	$D_i > 0$
18C	0,00 <sup>ns</sup>	0,02	154	-0,05 <sup>ns</sup>	0,02	91
18L	-0,12 <sup>ns</sup>	0,01	3	-0,13 <sup>**</sup>	0,02	11
20C	-0,02 <sup>ns</sup>	0,01	59	-0,05 <sup>**</sup>	0,02	57
20L	-0,01 <sup>ns</sup>	0,01	5	-0,01 <sup>ns</sup>	0,01	7
22C	-0,10 <sup>ns</sup>	0,02	42	-0,10 <sup>**</sup>	0,02	44
22L	-0,14 <sup>ns</sup>	0,02	9	-0,09 <sup>**</sup>	0,01	26
24C	-0,05 <sup>ns</sup>	0,02	45	-0,08 <sup>**</sup>	0,02	45
24L	-0,04 <sup>ns</sup>	0,01	3	0,00 <sup>ns</sup>	0,01	5
Média	-0,060B	0,015	40	-0,063B	0,016	36

\* = referentes a 300 sementes; <sup>ns</sup> = medidas não diferem a 1% pelo teste t Student das correspondentes determinadas com o projetor de perfil; <sup>\*\*</sup> = medidas diferem, a 1%, pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; B = as médias das amostras contidas na mesma coluna diferem significativamente entre si, a 1%, pelo teste t Student.

sentou medidas menores, do que as determinadas com o projetor de perfil, provavelmente em decorrência de deformação plástica provocada no pedicelo da semente durante a medição; entretanto, a incerteza de medida não indicou diferenças significativas (1% de probabilidade pelo teste t de Student), sugerindo exatidão do paquímetro nas medições. Contudo, o paquímetro não foi preciso uma vez que as médias, componentes da média geral (Tabela 2), diferiram entre si (1% de probabilidade pelo teste t de Student), podendo a sua exatidão variar em função da amostra e de sua manipulação. Des-

sa forma, a média geral e o intervalo de confiança das amostras não podem ser empregados como fatores de correção geral e, quando empregado para determinar a medida de comprimento em sementes de milho, o paquímetro demanda determinação da incerteza de medida. Para a dimensão de largura, as diferenças de medida (Tabela 2) demonstram que o paquímetro não se mostrou exato. Neste caso, a forma piramidal das sementes, e decorrentes variações nas medidas transversais ao seu eixo longitudinal, colaboram para a inexactidão verificada no método.

Com relação ao comprimento, determinado com longuímeter nas amostras contendo sementes longas, a percentagem de sementes curtas, com diferença de medida maior do que zero ( $D_i > 0$ ), foi considerada de valor (0,67%) desprezível. Nas sementes curtas, o longuímeter mediu como curtas 49,59% de sementes longas, diferença de medida menor do que zero ( $D_i < 0$ ), mostrando-se ineficiente, provavelmente, em virtude de provocar deformação plástica no pedicelo da semente. Portanto, ficaram evidentes dificuldades do longuímeter em medir o comprimento, principalmente em sementes curtas.

As diferenças de medida de largura, obtidas nas peneiras (Tabela 3), foram interpretadas sob o mesmo enfoque dado às do longuímeter. Em geral, as peneiras retiveram parte das sementes com dimensões inferiores às do diâmetro do crivo; a taxa mais elevada (12,67%) dessa ocorrência situou-se no caso do tamanho 18. Esse erro, provavelmente, deve estar associado às variações operacionais na agitação manual das peneiras e

**TABELA 3. Diferenças das medidas (mm) de comprimento (compr) e de largura de sementes de milho, intervalos de confiança\* ( $IC_{(1;0,01)}$ ) e diferenças maiores do que zero\* ( $D_i > 0$ ) das determinações realizadas em longuímeter e em peneira em relação às realizadas em projetor de perfil. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	Comprimento			Largura		
	compr. (mm)	$IC_{(1;0,01)}$ (mm)	$D_i > 0$	largura (mm)	$IC_{(1;0,01)}$ (mm)	$D_i > 0$
18C	0,23 <sup>**</sup>	0,16	169	-0,31 <sup>**</sup>	0,04	38
18L	-2,29 <sup>**</sup>	0,10	0	-0,45 <sup>**</sup>	0,03	7
20C	0,15 <sup>**</sup>	0,19	170	0,22 <sup>**</sup>	0,04	24
20L	2,48 <sup>**</sup>	0,21	0	0,28 <sup>**</sup>	0,03	4
22C	-1,18 <sup>**</sup>	0,18	58	-0,27 <sup>**</sup>	0,03	15
22L	-1,87 <sup>**</sup>	0,11	6	-0,26 <sup>**</sup>	0,03	14
24C	0,32 <sup>**</sup>	0,09	198	0,54 <sup>**</sup>	0,06	31
24L	0,92 <sup>**</sup>	0,13	2	0,28 <sup>**</sup>	0,04	2
Média	-0,155B	0,146	75	0,004A	0,037	17

\* = referentes a 300 sementes; <sup>\*\*</sup> = medidas diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; A = as médias das amostras contidas na mesma coluna não diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student; B = as médias das amostras contidas na mesma coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student.

às imperfeições na calibração de seus crivos, fatores que a metodologia empregada não permitiu a verificação.

Com relação às medidas estimadas pelo modelo da elipse que melhor representa o objeto, verificou-se que, em todas as resoluções empregadas, a ordenação das sementes afetou a exatidão e a média das diferenças das medidas, principalmente com relação às medidas de comprimento que, nas imagens com sementes desordenadas, apresentam valores superiores a 1mm. Esta alta incerteza de medida, em imagens com sementes desordenadas, é devida ao fato do modelo considerar o maior eixo da imagem na orientação da elipse, alocando as elipses com os maiores eixos paralelos ao eixo  $x$  da imagem. Para a estimativa de momentos superiores de um objeto contido na imagem, deve-se isolar o objeto da imagem assumindo, como referência, seus eixos e centro de gravidade e não os referidos parâmetros da imagem. Os erros observados sugerem que o modelo considera o eixo e o centro de gravidade da imagem como referência. Assim, sementes, com eixo do comprimento transversal ao eixo  $x$  da imagem, são representadas por elipses em que o menor ( $e$ ) corresponde ao eixo do comprimento da semente, originado superdimensionamento nas elipses representativas das sementes. Dessa forma, o modelo da elipse que melhor representa o objeto apresenta limitações para medir sementes de milho.

Com relação às medidas estimadas pelo modelo do menor retângulo circunscrito, apenas a resolução de 200 ppi (Tabelas 4 a 7) não apresentou diferença de medida significativa. A exatidão das medidas, em imagens (200 ppi) de sementes ordenadas e desordenadas, não foi afetada pela ordenação e, conseqüentemente, os arquivos não têm significância alterada. Portanto, as medidas estimadas pelo modelo ficam facilitadas uma vez que, por praticidade operacional, a desordenação é desejável.

Comparando a exatidão das medidas (teste t de Student) apresentadas nas Tabelas 4 e 6 com as exatidões e médias apresentadas nas Tabelas 5 e 7, verifica-se que a exatidão da medida estimada não foi afetada significativamente com relação às alterações da posição da face (dorsal ou ventral) vol-

**TABELA 4. Diferenças das medidas (mm) de comprimento e de largura de sementes de milho, das estimativas realizadas pelo modelo do menor retângulo circunscrito, em imagens arranjadas na posição ordenada/dorsal e digitalizadas com as resoluções de 100, 150, 200 e 250 ppi, em relação às determinadas em projetor de perfil. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)			
	100	150	200	250	100	150	200	250
	(ppi)				(ppi)			
18C	0,18 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>**</sup>	0,14 <sup>**</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>**</sup>
18L	0,15 <sup>**</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
20C	1,13 <sup>**</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>**</sup>	0,07 <sup>**</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
20L	0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
22C	0,17 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>**</sup>	0,07 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>**</sup>
22L	0,15 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>**</sup>	0,08 <sup>**</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>**</sup>
24C	0,20 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>**</sup>	0,03 <sup>**</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>**</sup>
24L	0,16 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>**</sup>	0,04 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Média	0,276B	0,080B	-0,018A	0,067A	0,245B	0,062B	0,026A	0,050B

\* = referentes a 300 sementes; <sup>ns</sup> = medidas não diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; \*\* = medidas diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; A = as médias das amostras contidas na mesma coluna não diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student; B = as médias das amostras contidas na mesma coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student.

**TABELA 5. Diferenças das medidas (mm) de comprimento e de largura de sementes de milho, das estimativas realizadas pelo modelo do menor retângulo circunscrito, em imagens arranjadas na posição ordenada/ventral e digitalizadas com as resoluções de 100, 150, 200 e 250 ppi, em relação às determinadas em projetor de perfil. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)			
	100	150	200	250	100	150	200	250
	(ppi)				(ppi)			
18C	0,15 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>**</sup>	0,10 <sup>**</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>**</sup>
18L	0,11 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
20C	0,10 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>**</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
20L	0,32 <sup>**</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
22C	0,12 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
22L	0,10 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>**</sup>	0,07 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>**</sup>
24C	0,23 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>**</sup>	-0,05 <sup>**</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
24L	0,29 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>**</sup>
Média	0,177B	0,048B	-0,05A	0,032A	0,062B	0,035B	0,023A	0,042B

\* = referentes a 300 sementes; <sup>ns</sup> = medidas não diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; \*\* = medidas diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; A = as médias das amostras contidas na mesma coluna não diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student; B = as médias das amostras contidas na mesma coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student.

**TABELA 6. Diferenças das medidas (mm) de comprimento e de largura de sementes de milho, das estimativas realizadas pelo modelo do menor retângulo circunscrito, em imagens arranjadas na posição desordenada/dorsal e digitalizadas com as resoluções de 100, 150, 200 e 250 ppi, em relação às determinadas em projetor de perfil. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)			
	100	150	200	250	100	150	200	250
	(ppi)				(ppi)			
18C	0,21 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>**</sup>	0,09 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>**</sup>
18L	0,17 <sup>**</sup>	0,16 <sup>**</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>**</sup>	0,06 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
20C	0,19 <sup>**</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>**</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
20L	0,08 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>**</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
22C	0,18 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
22L	0,15 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
24C	0,11 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>**</sup>
24L	0,04 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
Média	0,141B	0,101B	0,043A	0,105B	0,102B	0,036B	-0,008A	0,042B

\* = referentes a 300 sementes; <sup>ns</sup> = medidas não diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; \*\* = medidas diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; **A** = as médias das amostras contidas na mesma coluna não diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student; **B** = as médias das amostras contidas na mesma coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student.

**TABELA 7. Diferenças das medidas (mm) de comprimento e de largura de sementes de milho, das estimativas realizadas pelo modelo do menor retângulo circunscrito, em imagens arranjadas na posição desordenada/ventral e digitalizadas com as resoluções de 100, 150, 200 e 250 ppi, em relação às determinadas em projetor de perfil. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)			
	100	150	200	250	100	150	200	250
	(ppi)				(ppi)			
18C	0,21 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>**</sup>	0,10 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>**</sup>
18L	0,16 <sup>**</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
20C	0,15 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
20L	0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>**</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>**</sup>
22C	0,15 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
22L	0,13 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
24C	0,14 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>**</sup>
24L	0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>**</sup>
Média	0,133A	0,095B	0,037A	0,091A	0,098B	0,026B	-0,01A	0,033B

\* = referentes a 300 sementes; <sup>ns</sup> = medidas não diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; \*\* = medidas diferem a 1% pelo teste t Student das medidas correspondentes determinadas com o projetor de perfil; **A** = as médias das amostras contidas na mesma coluna não diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student; **B** = as médias das amostras contidas na mesma coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste t Student.

tada para o vidro do "scanner". Com isso, em associação ao observado para ordenação, fica possibilitada a distribuição aleatória das sementes sobre o vidro.

Nas Tabelas 4 a 7 verifica-se que, apenas, a resolução de 200 ppi não apresentou caso com a incerteza de medida não significativa, mostrando-se adequada para digitalizações de imagens destinadas às estimativas de comprimento e de largura das sementes. Verifica-se ainda, em todos os casos estudados, que as médias das diferenças de medida não diferiram entre si (1% de probabilidade), significando que as medidas estimadas pelo modelo do retângulo, em imagens digitalizadas com 200 ppi, são precisas e é possível empregar a média geral das diferenças e o intervalo de confiança como fatores de correção.

As imagens digitalizadas, com a resolução de 250 ppi (Tabelas 4 a 7), apresentaram 13 casos com incerteza de medida altamente significativa, contrariando as previsões de que com o aumento da resolução de digitalização amplia-se a exatidão das medidas. Esse fato, provavelmente devido à presença de sombras, tende a se pronunciar com o aumento da resolução de digitalização e, neste caso, pode ser confirmado através de estudo específico.

O tamanho da amostra empregada (300 sementes) foi adequado para representar as diferenças de medida determinadas em paquímetro (Tabela 8) e estimadas em imagens digitalizadas (100, 150, 200 e 250 ppi), em relação às determinadas com o projetor de perfil (precisões de 0,05 e 0,1mm a 1% de significância), independentemente do posicionamento das sementes. Para a precisão de 0,01mm, em todos os casos, a amostra foi insuficiente.

O número de sementes necessário para representar as diferenças de medida do longuímeter e da peneira não foi considerado em razão do tamanho da amostra ser estimado levando em conta o desvio padrão; como, nestes casos, o desvio padrão das diferenças de medida foi considerado, pois as medidas foram agrupadas em maiores e

menores do que uma referência, o tamanho da amostra necessária não foi determinado.

A verificação do número de sementes necessário para medidas obtidas em paquímetro e em imagens de sementes digitalizadas (200 ppi), na posição desordenada/dorsal (Ta-

**TABELA 8. Número de sementes necessário (N) para medidas com precisões (p) de 0,01; 0,05 e 0,10mm, considerando as diferenças de comprimento e largura determinadas com o paquímetro em relação às medidas, determinadas com o projetor de perfil em oito amostras de sementes de milho. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	N					
	Comprimento			Largura		
	p(mm)					
	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01
18C	8	33	847	10	38	978
18L	4	15	403	7	28	723
20C	8	37	787	9	35	789
20L	5	23	489	6	28	887
22C	11	41	1.069	9	35	917
22L	7	27	696	5	18	471
24C	9	40	501	10	38	876
24L	6	25	598	7	25	499
Média	8	30	674	8	31	768

**TABELA 9. Número de sementes necessário (N) para medidas com precisões (p) de 0,01; 0,05 e 0,10mm, considerando as diferenças de comprimento estimadas pelo modelo do menor retângulo circunscrito em imagens de sementes de milho arranjadas na posição desordenada/dorsal e digitalizadas com a resolução de 200 ppi, em relação às medidas determinadas com o projetor de perfil em oito amostras. Piracicaba, São Paulo, 1997.**

Amostra	N					
	Comprimento			Largura		
	p (mm)					
	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01
18C	20	75	1.954	20	76	1.978
18L	17	65	1.686	15	57	1.473
20C	15	65	1.589	18	65	1.567
20L	13	54	1.236	12	47	1.234
22C	16	62	1.605	16	63	1.637
22L	10	38	998	11	41	1.064
24C	10	56	1.019	14	57	1.457
24L	8	28	789	9	39	987
Média	14	55	1.360	14	56	1.425

bela 9), indicou que uma amostra de 100 sementes é suficiente para estimar as medidas de comprimento e largura, com precisão de 0,05mm. Para medidas com a precisão de 0,01mm há a necessidade de um número de sementes superior a 700, o que dificulta a aplicação de qualquer dos métodos testados para a medição das sementes de milho.

Considerando os resultados obtidos, é possível sugerir, para a determinação das dimensões de comprimento e largura em sementes de milho através da análise de imagens, os seguintes parâmetros e procedimentos: 200 ppi e 24 bits para a resolução de digitalização; sementes desordenadas, em razão da facilidade no manuseio; sementes posicionadas ventral e/ou dorsal; amostra contendo 100 sementes (precisão de 0,05mm); emprego do método do retângulo circunscrito (sistema SIARCS 3.0®).

A técnica de análise de imagens apresenta as vantagens adicionais de permitir automatizar o sistema de classificação de sementes, possibilitando as informações de: valores médios das dimensões de comprimento e largura das sementes, distribuição de frequência das dimensões de comprimento e largura das sementes, aferição da classificação comercial.

## CONCLUSÃO

Nas condições em que o trabalho foi realizado, conclui-se que o emprego da técnica de análise de imagens é viável para determinar o comprimento e a largura de sementes de milho, apresentando alta precisão e exatidão satisfatória.

## REFERÊNCIAS

- ASSAD, E.D. & SANO, E.E. **Sistema de informação geográfica: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1993. 18p.
- BALASTREIRE, L.A. Semeadura convencional. In: BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. p.146-207.
- BERNDT, G. Medida y medicion. In: COMPANY, M. **Manual del ingeniero de taller**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A., 1961. t.1, p.515-542.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- CASILLAS, A. **Tecnologia da medição**. 4.ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1979. 100p.
- CHINNAN, M.S.; YONG, J.H. & ROHRBACK, R.P. Accuracy of seed spacing in peanuts planter. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.18, n.5, p.828-831, 1975.
- COCHRAN, W.G. **Técnicas de amostragem**. 2.ed. Rio de Janeiro: USAID, 1965. 555p. (Tradução F.M. Barbosa).

- COMPAIN, L. **Metrologia de Taller**. Bilbao: Urmo S.A. de Ediciones, 1974. 303p.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A. & VAZ, C.M. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.365-372, 1994.
- CRUVINEL, P.E.; CRESTANA, S. & JORGE, L.A.C. Métodos e aplicações do processamento de imagens digitais. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN-NETO, L. & COLNAGO, L.A. (eds.). **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1996. p.91-151.
- DAY, J.B. **Color scanning handbook**. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1997. 267p.
- EMBRAPA - SPSB. **Manual de normas técnicas para produção e execução do controle de qualidade dos híbridos duplos BR-201, BR-205 e BR-206 da EMBRAPA**. Brasília: EMBRAPA - SPSB, 1994. 29p.
- FACON, J. Oportunidades do processamento de imagens na pesquisa agropecuária. In: CRUVINEL, P.E.; CRESTANA, S.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A. & MATTOSO, L.H.C. (eds.). **SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA - SIAGRO**, São Carlos, 1996. **Anais**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1997. p.31-38.
- FANCELLI, A.L. & DOURADO-NETO, D. Milho: fisiologia da produção. In: FANCELLI, A.L. & DOURADO-NETO, D. (coord.) **Seminário sobre fisiologia e manejo de água e de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.9-20.
- FONSECA, J.S. & MARTINS, G.A. **Curso de estatística**. 5.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1995. 317p.
- IHRIG, S. & IHRIG, E. **Scanning: the professional way**. Berkeley: Osborne McGraw-Hill, 1997. 148p.
- JORGE, L.A.C. & CRESTANA, S. SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: **CONGRESSO LATINO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 13, Águas de Lindóia, 1996. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.5.
- MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S. & MANTOVANI, B.H.M. Uso de câmara de vídeo VHS em bancada de teste para semeadora. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 3, Londrina, 1991. **Anais**. Londrina: SBEA/EMBRAPA, 1991. p.1386.
- McCUEN, R.H. **Statistical methods for engineers**. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc., 1985. 439p.
- McDONALD, T. & CHEN, Y.R. Application of morphological image processing in agriculture. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.4, p.1345-1352, 1990.
- PRATT, W.K. **Digital image processing**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 750p.
- SAS. **SAS/STAT User's Guide, version 6**. 4.ed. Cary: SAS Institute Inc., 1990. 1848p.
- SEARS, F.W. & ZEMANSKY, W. **Física: mecânica - hidrodinâmica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1980. v.3, 207p.
- SPIEGEL, M. **Probabilidade e estatística**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 518p. (Tradução A.A. Faria).

