

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR VOLUME MEASUREMENT BASED ON MOIRÉ TECHNIQUES

DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO MÉTODO PARA MEDIDA DE VOLUME BASEADO EM TÉCNICAS DE MOIRÉ

Ph.D. Stud. Eng. Marcos V. G. Silva¹, Prof. Ph.D. Eng. Adilson Enes², Prof. Ph.D. Eng. Inácio M. D. Fabbro¹,
Ph.D. Eng. Celina de Almeida

¹ Faculty of Agricultural Engineering, UNICAMP, Campinas, SP / Brazil ² Department of Agricultural Engineering, UFS, Aracaju, SE / Brazil
Tel: +55 19 3521-1059; E-mail: inacio@feagri.unicamp.br

Abstract: This research work reports a shadow moiré method applied in generating spatial dimensions of solid figures. The focus of this work is to study as well as to turn feasible a new method of measuring object shape as plant organs. Selected experimental setup included four Ronchi optical grids out of phase by $\frac{1}{4}$ of period, a conventional white light source and a digital camera. The samples were held by a support, following by data acquisition process generating four elevation digital models (EDM). EDM were employed to create the tridimensional Model (TM) which, in turn, was also applied to generate the object volume. The method of water volume displacement has been used for data comparison in which the change of liquid volume is equal to the object volume. The results allowed to state that moiré techniques can be used for volumetric determination of irregular objects as fruits and others vegetable organs. The work includes error determination.

Keywords: fruit shape determination, shadow moiré technique, fruit classification

INTRODUCTION

Nowadays the techniques devoted in measuring volume, shape and surface profile of irregular objects are supported by optical phenomena and no longer on instruments requiring physical contact. The pertinent literature discloses a group of methods named *moiré*, in which the authors emphasize the simplicity, low cost and short time demand. Shape measuring techniques are close associated to the medical science, reverse engineering process, stress-strain analysis, quality control, mathematical modeling, thermal science, soil – tire contact area determination, plant-machine mechanical relationship, vegetable shape determination, etc. The geometric representation of an object shape in a X_i coordinate system within an acceptable tolerance limit is of unquestionable application in many subjects associated to research and technology developments, including within the agricultural process, since seedling up to harvesting, transportation and storage, as emphasized by the literature, [9], [5]; and [8] present a comprehensive study on *moiré* techniques applications in agriculture. [6] reported the application of a *moiré* technique in studying the mechanical interactions of sugarcane stalks with cutting disks. [5] presented a study on fruit packing by means of a *moiré* method. [2] presented a *moiré* model to describe plant architecture. Three dimensional shape surveys of fruits became a thematic subject, as reported by [8], [5], [17]. The pertinent literature also discloses applications of *moiré* techniques associated to mechanical properties of vegetative materials, bamboo, composites, etc, as [5], [11], [2], [17]. *Moiré* technique applied to strain as well as stress distributions in a diversity of systems, as wood structure, soil-tire, soil mechanical test, etc, has

Resumo: Este trabalho relata o uso do método de Moiré de Projeção com Deslocamento de Fase aplicado na geração de dimensões espaciais de figuras sólidas. O foco deste trabalho é estudar e tornar viável um novo método de medir a forma de objetos tais como órgãos de plantas. A configuração experimental selecionada consistiu em quatro grades ópticas Ronchi fora de fase por $\frac{1}{4}$ do período, uma fonte de luz branca convencional e uma câmera digital. As amostras foram detidas por um suporte, seguido pela aquisição de dados e gerar quatro modelos digitais de elevação (EDM). EDM foram utilizados para criar o modelo tridimensional (TM) que, por sua vez, também foi aplicado para gerar o volume do objeto. O método de deslocamento de volume de água foi utilizado para a comparação de dados, tendo em conta que a variação do volume de líquido é igual ao volume do corpo de prova. Os resultados permitiram afirmar que as técnicas de moiré podem ser empregadas para determinar o volume de objetos irregulares como frutas e outros órgãos vegetais. O trabalho inclui a determinação de erro.

Palavras-chave: frutas determinação forma, técnica de moiré de sombra, classificação de frutas

INTRODUÇÃO

Hoje em dia as técnicas consagradas na medição de volume, forma e perfil de superfície de objetos irregulares são auxiliadas por fenômenos ópticos e não tanto por instrumentos baseados em contato físico. A literatura revela um grupo de métodos denominados *moiré*, em que os autores enfatizam a simplicidade, baixo custo e baixa demanda de tempo. As técnicas medição de superfícies estão normalmente associadas à ciência médica, nos processos de engenharia reversa, análise de tensão-deformação, controle de qualidade, modelagem matemática, ciências térmicas, determinação da área de contato de pneu-solo, relação mecânica máquina-planta, determinação da forma vegetal, etc. A representação geométrica da forma do objeto em um sistema de coordenadas X_i dentro de um limite de tolerância aceitável é de aplicação inquestionável em muitos assuntos relacionados com a pesquisa e desenvolvimentos tecnológicos, inclusive dentro do processo agrícola, desde o plantio até a colheita, transporte e armazenamento, conforme enfatiza a literatura, [9], [5] e [8] apresentam um estudo abrangente sobre as aplicações técnicas de *moiré* em engenharia agrícola. [6] relataram a utilização de uma técnica de *moiré* no estudo das interações mecânicas dos caules de cana com discos de corte. [5] apresentam um estudo sobre embalagens de frutas por meio de um método de *moiré*. [2] apresentou um modelo *moiré* para descrever a arquitetura da planta. O levantamento tridimensional da forma de frutas tornou-se um assunto temático, conforme relatado por [8], [5], [17]. A literatura pertinente também revela aplicações das técnicas de *moiré* associadas às propriedades mecânicas dos materiais vegetais, bambu, compósitos etc. [5]; [11]; [17] e [2]. A técnica de *moiré* aplicada a deformações, bem como a distribuição de tensões em uma diversidade de sistemas, como estrutura de madeira, solo-pneu, testes em mecânica

been reported by [2] and [7]. Applications of *moiré* methods in animal material have reported by [5]. [13] reported the application of *moiré* methods in thermal analysis. A recent research work reported by [9] emphasizes the association of the ANSYS software with phase translation *moiré* technique in generating the three dimensional coordinates of solid bodies.

The name *moiré* has its origin in the French language, referring to *wave like pattern*. When screens of same mesh density are superposed, fringes are generated which move when their relative positions are displaced [16]. Lord Rayleigh, 1874 [12] proposed the application of a *moiré* technique in testing diffraction grids. Mulo (1925) [12] applied that technique in studying deformations of mica layers. Later on, Tollenar (1945) [12] reported that *moiré* fringes could be used to magnify displacements, being also suitable as a photoelastic method.

Recent reports present comprehensive classifications of the methods termed as *moiré*. *Moiré* methods include a large number of techniques as *shadow moiré*, *projection moiré* and others as reported by Meadows et al and Takasaki [4]. Projection *moiré* consists in positioning a pair of grids in front of a light source and by moving the reference grid to modulate the light beam amplitude will generate interference pattern fringes on the object surface. Projection *moiré* with phase shift is a high precision technique, consisting in shifting the camera grid phase against the projecting grid [4]. [8] reports a successful application of a projection *moiré* technique in surveying plant organs shape. A digital projection *moiré* would employ a direct grid projection and superimposition onto the object surface by means of multimedia equipment following by image capturing and demodulation.

[4] states that two images are necessary, being one on the reference plane and the second one on the object surface, however when a spatial parallel phase shift is used only one interferogram is required for image analysis. If a grid is positioned between the object and the light source, its shade will be observed onto the object surface, in which the interference between grid lines and the shade grid will generate the *moiré* fringes, which reproduces the object contour.

A phase shift is generated by changing the distance between the object and the grid or by the translation of the grid on its own plane. A useful tool consists in generating a grid with varying gray level [4].

Grid modulation intensity is given by:

$$T(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \text{sen}\left(\frac{2 * \pi * x}{p}\right) \quad (1)$$

Where $T(x)$ the modulation intensity and p is the grid period. Meadows et al (Degrieck, 2001) present the following equation for light intensity distribution in (x, y, z) point considering a sinusoidal grid.

$$I(x, y) = \frac{I}{r^2} * \cos(\phi(x, y, z(x, y))) * \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \text{sen}\left(\frac{(2 * \pi * h1 * x)}{(p * (h1 + z))}\right)\right] * \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \text{sen}\left(\frac{(2 * \pi)}{p} * \left(\frac{dz + h2x}{(h2 + z)}\right)\right)\right] \dots \dots \dots (2)$$

Where I is light intensity, r is the distance between the light source and the surface being illuminated, ϕ is the angle between the incident light beam and the normal to the surface, p is the reference grid period, $h1$ is the distance between light source and the reference

de solo, etc, tem sido relatada por [2] e [7]. Aplicações de métodos de *moiré* em material animal já foi relatado por [5]. [13] relataram a utilização de *moiré* em métodos de análise térmica. Um trabalho de investigação recente relatada por [9] enfatiza a associação do programa ANSYS utilizando a técnica *moiré* com variação de fase para gerar as coordenadas tridimensionais de corpos sólidos.

O nome *moiré* tem sua origem na língua francesa, referindo-se a onda como padrão. Quando grades de mesma densidade de malha são sobrepostas, franjas são geradas que se movem quando suas posições relativas são deslocadas [16]. Lord Rayleigh, 1874 [12] propuseram a aplicação de uma técnica de *moiré* em grades de difração. Mulo (1925) [12] aplicou essa técnica para estudar as deformações de camadas de mica. Mais tarde, Tollenar (1945) [12] relatou que a defasagem da franja pode ser utilizada para ampliar os deslocamentos, sendo também apropriado como um método fotoelástico.

Relatórios recentes apresentam classificações completas dos métodos denominados como *moiré*. Métodos de *moiré* incluem um grande número de técnicas como *moiré* sombra, projeção *moiré* e outros, conforme relatado por Meadows et al e Takasaki [4]. *Moiré* de projeção consiste em projetar uma grade utilizando uma fonte de luz em um plano de referência e posteriormente no objeto, a sobreposição das duas grades gera padrão de franjas na superfície do objeto. *Moiré* Projeção com deslocamento de fase é uma técnica de alta precisão, que consiste no deslocamento da fase de alimentação da câmara em relação à grade que se projeta [4]. [8] relata uma aplicação bem-sucedida de uma técnica de *moiré* de projeção no levantamento da topográfica da planta. No *moiré* de projeção digital emprega-se uma projeção de grade direta e sobreposição na superfície do objeto por meio de equipamentos de multimídia seguidos por captura de imagens e demodulação.

[4] afirma que duas imagens são necessárias, sendo uma no plano de referência e a segunda na superfície do objeto, no entanto, quando uma mudança de fase em paralelo espacial apenas um interferograma é necessário para a análise das imagens. Se uma grade é posicionada entre o objeto e a fonte de luz, a sua sombra vai ser observada na superfície do objeto, em que a interferência entre as linhas da grade e a grade sombra irá gerar as franjas de *moiré*, que reproduz o contorno do objeto sendo essa técnica denominada *moiré de sombra*.

Uma mudança de fase é gerada alterando a distância entre o objeto e a grade ou a translação da grade no seu próprio plano. Uma ferramenta útil consiste na geração de uma grade com diferentes níveis de tons de cinza [4].

A intensidade de modulação da grade é dada por:

Onde $T(x)$ é a intensidade da frequência e p é o período de grade. Meadows et al (Degrieck, 2001) apresentam a seguinte equação para a distribuição da intensidade de luz em (x, y, z) , considerando uma grade senoidal.

Onde I é a intensidade da luz, r é a distância entre a fonte de luz e a superfície a ser iluminada, ϕ é o ângulo entre o feixe de luz incidente e a normal à superfície, p é o período de grade de referência, $h1$ é a distância entre a fonte de luz e a grade de referência, $h2$ é a distância do

grid, h_2 is the distance between the observer and the reference grid. [15] reports that system non-linearity and noise occurrence might generate edge errors due to surface discontinuity in relation to the plane. The same author also reports that three or four images with different and continuous grids and sinusoidally spaced fringes are needed to obtain object surface and contour. For three-dimensional contour determination it is generally necessary four sinusoidal grids projected onto the object surface with fringes phase varying as $0, \pi/2, \pi$ e $3\pi/2$, [15]. Image light intensity distribution for these phases is:

$$I_1(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos(\varphi(x, y)) \quad (3)$$

$$I_2(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos(\pi/2 + \varphi(x, y)) \quad (4)$$

$$I_3(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos(\pi + \varphi(x, y)) \quad (5)$$

$$I_4(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos(3\pi/2 + \varphi(x, y)) \quad (6)$$

Where $a(x, y)$ is the average light intensity, or background, $b(x, y)$ is the modulation intensity and $\varphi(x, y)$ the phase to be determined. Phase can be obtained from the following equation:

$$\varphi(x, y) = \arctan\left(\frac{I_4(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_3(x, y)}\right) \quad (7)$$

Fringes of same period can be adjusted by changing pixel number of a projector with liquid crystal display (LCD). This fringe projection method makes easier the object contour determination [15]. Uncertainties in phase-depth conversion can generate errors on the final measurement, which limits the application of that method for some cases. Digital camera distortion also generates significant errors (Liu, 2003) cited [8]. By using a unique sinusoidal grid instead of a full grid and by translating only 1/4 of the wave period keeps the light intensity variation tendency in the same sense, minimizing the errors due to surface discontinuity in relation to the reference plane [2]. Based on what it has been explained above the objective of this work is to apply the Phase Translation Method in obtaining the three dimensional coordinates of fresh fruits.

MATERIAL AND METHODS

The experimental phase of this research work was carried in the Laboratory of Optics at Faculty of Agricultural Engineering of UNICAMP, Campinas, as well as at the Laboratory of Optics at the IAC, Jundiaí, SP, Brazil. As is displayed on Figure 1, the experimental setup included a PC with Windows XP and GNU/Linux systems, a LCD NEC VT560 projector, a SAMSUNG SDC312 CCD digital camera with 640 columns and 480 lines, a digital calibrator with 0.001 mm of precision and 04 Ronchi grids, out of phase by $\pi/2$ one from each other, including the software Scilab, IMAGEJ, Rising Sun Moiré, Sisvar and AUTO CAD 2000.

Volume determination by submersion

Five testing fruits were selected for shape and volume determination. The fruits were firstly submerged in a graded testing tub of 25 ml with 2 ml of of unit scale filled with 99,3° INP alcohol, holding a replication number of five.

observador e da grade de referência. [15] relata que o sistema de não linearidade e a ocorrência de ruído podem gerar erros nas bordas devido a descontinuidade da superfície em relação ao plano. O mesmo autor também relata que três ou quatro imagens com grades diferentes e contínuas e franjas espaçadas senoidalmente são necessários para obter o contorno e a superfície do objeto. Para a determinação tridimensional do contorno são geralmente necessárias quatro grades senoidais projetadas sobre a superfície do objeto com a fase variando de $0, \pi/2, \pi$ e $3\pi/2$, [15]. As equações de distribuição de intensidade de luz para estas fases são:

Onde $a(x, y)$ é a intensidade média da luz, ou fundo, $b(x, y)$ é a intensidade da demodulação e $\varphi(x, y)$ da fase a determinar. A demodulação pode ser obtida a partir da seguinte equação:

Franjas de igual período podem ser obtidas ajustando o número de pixels de um projetor com a tela de cristal líquido (LCD). Esse método de projeção de grades torna mais fácil a determinação do contorno objeto [15]. Incertezas na conversão da fase empacotada pode gerar erros na medição final, o que limita a aplicação desse método para alguns casos. Distorção da câmera digital também gera erros significativos (Liu, 2003) apud [8]. Usando uma única grade senoidal no objeto em vez de um conjunto de quatro grades sendo as grades defasadas em um quarto do período de onda no plano de referência, minimizam os erros devidos a descontinuidade da superfície em relação ao plano de referência [2]. Baseado no que foi explicado acima o objetivo deste trabalho é aplicar o método de deslocamento de fase na obtenção das coordenadas tridimensionais de frutos

MATERIAL E MÉTODOS

A fase experimental deste trabalho de pesquisa foi levada a cabo no Instituto Agrônomo de Campinas, em Jundiaí, como também na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas, SP, Brasil. O aparato experimental selecionado, como mostrado em Figura 1, incluiu um PC com Windows XP associado ao sistema GNU/Linux, um projetor LCD NEC VT560, uma câmera SAMSUNG SDC312 CCD com 640 colunas e 480 linhas, um calibrador digital com 0,001 mm de precisão e quatro grades Ronchi fora de fase $\pi/2$ um de um ao outro. Software empregado incluiu Scilab, IMAGEJ, Rising Sun Moiré, Sisvar e AUTO CAD 2000.

Determinação do volume por imersão

Foram feitas várias repetições na medição volumétrica através de imersão das sementes de mamonas em solução de Álcool Anidro Hidratado de 99,3° INP em uma Proveta de 25ml cuja graduação variava de dois em 2ml.

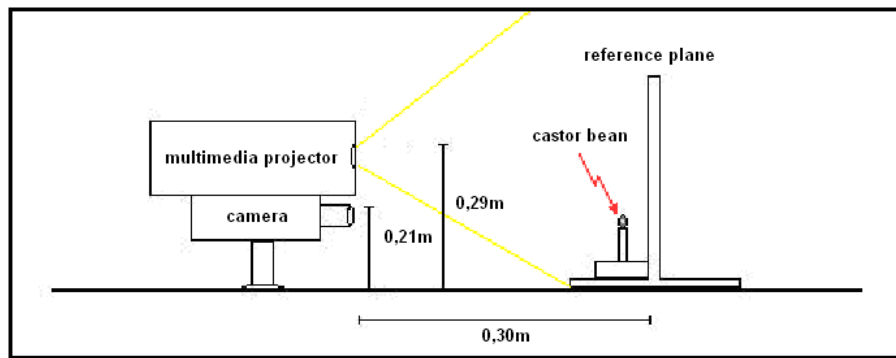


Fig. 1 - Adopted moiré experimental setup

Moiré tests

Out phase grids were denoted as G_i ($i = 1, 2, 3, 4$), fig. 2 were projected onto a white opaque panel, generating the images P_i . However, the objected was divided into four faces, named F_i , on which the grid G_i was projected, generating the image O_i . Those images P_i and images O_i were converted to gray gradient by means of the software ImageJ. The subtraction of images O_i from P_i will generate a set of sixteen images M_i which was forwarded for filtering process by means of the ImageJ software, yielding images presented in gray gradient as well as with *moiré* fringes. The ImageJ software filtration process applies the Gaussian Blur method to eliminate the original grid, preventing, that way, undesirable interferences. The set of images M_i were then forwarded to the SCILAB software to generate the final matrix form expressed in X_i coordinates, refereeing to a unique origin O , expressed in millimeters.

Ensaio com moiré

Grades defasadas nomeadas como G_i ($i = 1, 2, 3, 4$), fig. 2 foram projetadas em um painel branco opaco, gerando as imagens P_i . No entanto, foi dividida em quatro faces, nomeado F_i , em que a grade G_i foi projetada, gerando a imagem O_i . Aquelas imagens P_i e imagens O_i foram convertidas em gradiente cinza por meio do software ImageJ. A subtração das imagens O_i de P_i gerou um conjunto de imagens M_i , que foram encaminhados para o processo de filtragem por meio do software ImageJ, produzindo imagens apresentadas no gradiente cinza, sendo essas as franjas de *moiré*. O processo de filtragem utilizando o software ImageJ aplicando o método de Gaussian Blur para eliminar a grade original, evitando, dessa forma, as interferências indesejáveis. As imagens do M_i foram então encaminhadas para o software SCILAB para gerar a forma matricial final expresso em coordenadas X_i , arbitragem para uma única origem O , expressa em milímetros.

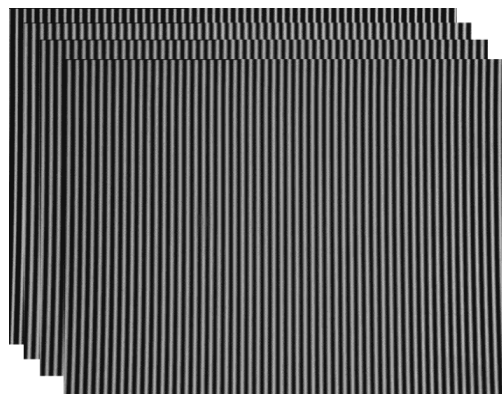
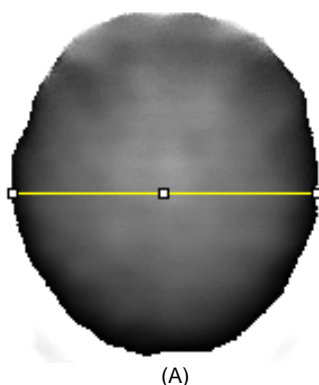


Fig. 2 - Ronchi grids named G_1, G_2, G_3 and G_4 , out of phase by $\pi/2$ and referred as G_i ($i = 1, 2, 3, 4$)

RESULTS

RESULTADOS



(A)



(B)

Fig. 3 - Wrapped phase map, having the phase varying from $-\pi$ to π . (A) Face 1 of castor bean 2. (B) Top view with contour lines

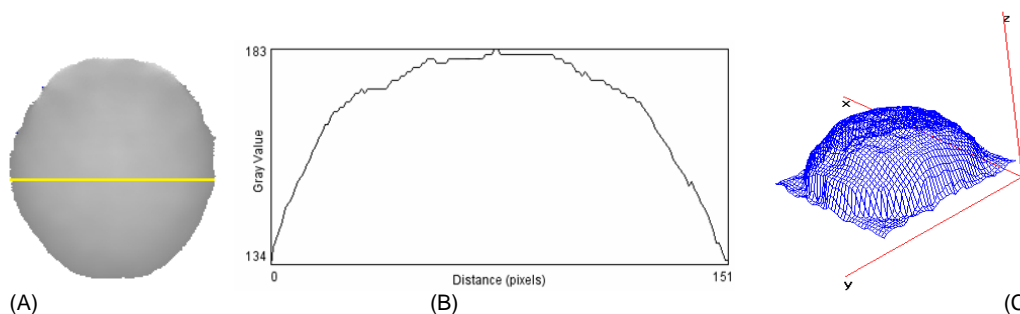


Fig. 4 - (A) Mde of The Castor Bean Fruit in Gray Gradient. (B) Profile Line at The Middle Point and (C) Topographic Representation

Table 1

Fruit volume values obtained from liquid displacement

Calibrator					
Seed1	weight	Seed 2	weight	Seed 3	weight
4.5 ml	0.689	5ml	0.778	5	0.9334
4.5ml	0.688	5ml	0.778	5	0.9323
4.5ml	0.688	5ml	0.777	5	0.9310

Table 1 indicates that the volume determination shows high precision keeping the human subjectivity at a minimum level, as indicated by the coefficient of variation with three repetitions. Figure 2 exhibits an image of the castor bean fruit generate from the unwrapped moiré fringes as processed by the Rising Sun Moiré software presented in gray scale, which vary from zero for dark color and 255 for white color to represent the body topography. Moiré results can be further generating the three-dimensional view of the fruit, as it is shown on Figure 4. Those data can lead to the volume calculation and compared with the submersion technique.

A Tabela 1 mostra os valores obtidos volumetricamente através de ensaios envolvendo comparação de deslocamento de liquido, onde a influencia da subjetividade humana, foi mínima como indicado pelo coeficiente de variação efetuadas pelas três repetições. A Figure 2 exhibe uma imagem da semente de mamona, onde foi gerada a franja de *moiré* que desempacotam por meio do programa Rising Sun Moiré, que é representado em gradiente cinza. Intensidades cinza variam do zero (cor escura) para 255 (cor branca) que inclui um plano de gradiente cinza representando a topografia de objeto. Resultado do fruto gerado por *moiré* pode ser visto tridimensionalmente, na Figura 4. Esses dados podem levar ao cálculo do volume e comparado com a técnica de imersão.

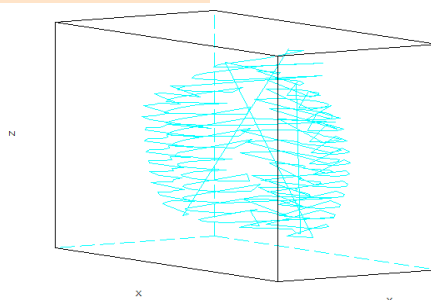


Fig. 5 - Volume representation as generated by the moiré method

CONCLUSION

Based on what it was explained before, it can be concluded that the moiré techniques are highly precise in measuring object topography, however some human factors can be inserted in the process during setup preparation as well as during the experimental data surveying.

REFERENCES

[1]. Abràmoff M.D., Magalhães P.J., Ram Sunanda J., (2004) – *Image processing with ImageJ*, Berkshire Common, Laurin Publishing, Biophotonics International, vol.11, no.7;
 [2]. Albiero D., Maciel, A.J.S., Dal Fabbro I.M., Rodrigues S., Mazzeti Filho V., (2005) - *Moiré assisted deformation distribution study on soil-tire system*, Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) vol.II, Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005, pp. 681-683;
 [3]. Amidror I., (2000) - *The theory of the moiré phenomenon*, Kluwer Academics Publishers. Dordrecht, p.474;

CONCLUSÕES

Com base no que foi explicado anteriormente, pode se concluir que as técnicas de *moiré* são altamente precisas na medição topográfica de objetos, no entanto, alguns fatores humanos podem ser inseridos no processo durante a preparação do setup, bem como durante o levantamento dos dados experimentais.

REFERÊNCIAS

[1]. Abràmoff M.D., Magalhães P.J., Ram Sunanda J. (2004) – *Processamento de Imagens por ImageJ*, Berkshire Common, Laurin Publishing, Biophotonics International, vol.11, n.7;
 [2]. Albiero D., Maciel A.J.S., Dal Fabbro I.M., Rodrigues S., Mazzeti Filho V., (2005) - *Aplicação da Técnica de Moiré no Estudo da Distribuição de Deformação num Sistema Associado a Pneu e Solo*, Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) vol.II, Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005, pp. 681-683;
 [3]. Amidror I., (2000) - *A Teoria do Fenômeno de Moiré*, Kluwer Academics Publishers, Dordrecht, 474 p.;

- [4]. Hu Y., Xi J., Chicharo J., Yang Z., (2006) - *Improved Three-step Phase Shifting Profilometry Using Digital Fringe Pattern Projection*, Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV'06). IEEE Computer Society. Sydney, Australia;
- [5]. Dal Fabbro I.M., Albiero D., Gazzola J., Rodrigues S., Rabelo G.F., Fujii A. K., (2005) - *Moiré assisted mechanical behavior of sugarcane stalks under axial compression*, Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) vol. I, (ISBN 975-487-125-6). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005, pp.242-245;
- [6]. Degrieck Joris, Van Paepegem W., Boone P., (2001) - *Application of Digital Phase-shift shadow moiré to micro deformation measurements of curved surfaces*, Optics and Lasers in Engineering, v.36, pp.29-40;
- [7]. Demarzo M.A., Affonso E.A., Dal Fabbro I.M., (2003) - *Application of a moiré interferometric technique in studying wooden structural elastic connections*, Proceedings of the International Congress - Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE 2003, vol. 1, (ISBN 975-483-598-5). Ege University, Bornova, Izmir, Turkey, October, 07 -10 2003, pp.689-692;
- [8]. Lino A.C.L., (2002) - *Moiré Optical Technique Applied to the Study of Irregular Surfaces*, Maters Thesis. Faculty of Agricultural Engineering, State University of Campinas, SP, p.86, Brazil;
- [9]. Marotti D., Dal Fabbro I.M.D., Lino A.C.L., (2008) - *Computational Implementation of Moiré Methods Applied to Three Dimensional Image Reproductions*. Unpublished Paper. State University of Campinas, SP, Brazil;
- [10]. Mazzeti Filho V., (2004) - *Use of moiré interferometry to study the dynamic stresses on floppy disks*, p.136, Dissertation (MSc in Agricultural Engineering), State University of Campinas, Campinas, SP, Brazil;
- [11]. Minamisawa R.A., Gazolla J., Albiero D., Dal Fabbro I.M., Beraldo A.L., (2005) - *Shadow moiré technique applied in testing composite material*, Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) vol.1, (ISSN 975-487-125-6). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005, pg. 237-241;
- [12]. Oster G., Nishijima Y., (1964) - *Moiré patterns*. Scientific American Resource Library: Readings in the Physics Sciences and Technology. Washington. v.3. Offprints 291-326. pp.54-63;
- [13]. Oliveira S.A.G., (1988) - *Development of materials for reflection photoelasticity*, p.93. Dissertation in Mechanical Engineering - Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, MG, Brazil;
- [14]. Post D., Han B., Ifju P., (1994) - *High sensivity moiré: Experimental analysis for mechanics and materials*, New York: Spring-Verlag;
- [15]. Quan C., He X.Y., Wang C.F., Tay C.J., Shang H. M., (2001) - *Shape measurement of small objects using LCD fringe projection with phase shifting*, Optics Communication, vol.189, pp.21-29.
- [16]. Sciammarella C.A., (1982) - *The moiré method – A review*. Experimental Mechanics. v.44, no.8, pp.418-433;
- [17]. Vieira M.A.P., Dal Fabbro I.M., Laurenti R., (2003) - *Application of a moiré interferometric technique in a simple structural member vibration analysis*. in Proceedings of the International Congress - Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE 2003, vol. 1, (ISBN 975-483-598-5). Ege University, Bornova, Izmir, Turkey, October, 07 -10, 2003, pp.599-603.
- [4]. Hu Y., Xi J., Chicharo J., Yang Z., (2006) - *Perfilometria Melhorada com Mudança de Fases em Tres Degraus com Aplicação de Projeção de Padões de Franjas Digitais*, Anais da Conferência Internacional de Computação Gráfica, Imagem e Visualização. IV'06). IEEE Computer Society. Sydney, Australia;
- [5]. Dal Fabbro I.M., Albiero D., Gazzola J.; Rodrigues S., Rabelo G.F., Fujii A. K., (2005) - *Aplicação da Técnica de Moiré no Estudo do Comportamento Mecânico de Colmos de Cana-de-Açúcar sob Tensão Axial*, Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) vol. I, (ISBN 975-487-125-6). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005, pp.242-245;
- [6]. Degrieck Joris, Van Paepegem W., Boone P., (2001) - *Aplicação da Técnica de Moiré Sombra Digital na Medição de Microdeformações em Superfícies Curvas*, Optics and Lasers in Engineering, v.36, pp.29-40;
- [7]. Demarzo M.A., Affonso E.A., Dal Fabbro I.M., (2003) - *Aplicação da Técnica Interferométrica de Moiré no Estudo de Conexões Elásticas em Estrutura de Madeira*, Proceedings of the International Congress - Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE 2003, vol. 1, (ISBN 975-483-598-5). Ege University, Bornova, Izmir, Turquia, october, 07 -10 2003, pp.689-692;
- [8]. Lino A.C.L., (2002) - *Técnica óptica de moiré visando a aplicação no estudo de superfícies irregulares*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade estadual de Campinas. Campinas, p.86;
- [9]. Marotti D., Dal Fabbro I.M.D., Lino A.C.L. (2008) - *Implantação Computacional dos Métodos de Moiré Aplicada a Reprodução Tridimensional de Imagens.*, Trabalho não publicado. Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil;
- [10]. Mazzeti Filho V., (2004) - *Utilização da interferometria de moiré no estudo de tensões dinâmicas em discos flexíveis*, 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade estadual de Campinas. Campinas, SP, Brazil;
- [11]. Minamisawa R.A, Gazolla J., Albiero D., Dal Fabbro I.M., Beraldo A.L., (2005) - *Aplicação da Técnica óptica de Moiré em Ensaios Mecânicos de Compósitos*. in Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) vol. I, (ISSN 975-487-125-6). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005, pp. 237-241;
- [12]. Oster G., Nishijima Y., (1964) - *Padrões de Moiré*. Scientific American Resource Library: Readings in the Physics Sciences and Technology. Washington. v.3. Offprints 291-326. pp.54-63;
- [13]. Oliveira S.A.G., (1988) - *Desenvolvimento de materiais para fotoelasticidade de reflexão*, 93 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, MG, Brazil;
- [14]. Post D., Han B., Ifju P., (1994) - *Moiré de Alta Sensibilidade: Análise Experimental para Mecânica de Materiais*, New York: Spring-Verlag;
- [15]. Quan C., He X.Y., Wang C.F., Tay C.J., Shang H. M., (2001) - *Medida de Formato de Pequenos Objetos com Projeção de Franjas com Mudança de Fase por LCD*, Optics Communication, v. 189, pp.21-29;
- [16]. Sciammarella C.A.,(1982) - *O Método de Moiré. Uma Revisão*. Experimental Mechanics. v.44, n.8, pp.418-433;
- [17]. Vieira M.A.P., Dal Fabbro I.M., Laurenti R., (2003) - *Aplicação da Técnica Interferométrica de Moiré na Análise Vibracional de um Membro Estrutural Simples.* in Proceedings of the International Congress - Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE 2003, vol. 1, (ISBN 975-483-598-5). Ege University, Bornova, Izmir, Turquia, october, 07 -10, 2003, pp. 599-603.