

RICARDO MARQUES DA COSTA

PROPOSTA DE UM PROCESSO DE CAPTURA E ANÁLISE DE IMAGENS PARA  
DETERMINAÇÃO DE FORMA E SUPERFÍCIE DE MATERIAIS BIOLÓGICOS PELA  
TÉCNICA DE *MOIRÉ*

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da  
Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das  
exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título  
de Bacharel em Ciência da Computação.

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

RICARDO MARQUES DA COSTA

PROPOSTA DE UM PROCESSO DE CAPTURA E ANÁLISE DE IMAGENS PARA  
DETERMINAÇÃO DE FORMA E SUPERFÍCIE DE MATERIAIS BIOLÓGICOS PELA  
TÉCNICA DE *MOIRÉ*

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Área de Concentração:  
Técnica de *Moiré* e Processamento Digital de Imagens

Orientador:  
Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Co-orientador:  
Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo

LAVRAS  
MINHAS GERAIS – BRASIL  
2006

Costa, Ricardo Marques

Proposta de um processo de captura e análise de imagens para determinação de forma e superfície de materiais biológicos pela técnica de *Moiré*/ Ricardo Marques da Costa. Lavras – Minas Gerais, 2006. 26p: il.

Monografia de Graduação – Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciência da Computação.

1. Sensibilidade. 2. Escala. 3. Rugosidade. I. COSTA, R. M. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

RICARDO MARQUES DA COSTA

PROPOSTA DE UM PROCESSO DE CAPTURA E ANÁLISE DE IMAGENS PARA  
DETERMINAÇÃO DE FORMA E SUPERFÍCIE DE MATERIAIS BIOLÓGICOS PELA  
TÉCNICA DE *MOIRÉ*

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da  
Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das  
exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título  
de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 18 de Setembro de 2006

---

Prof. Rudini Menezes Sampaio

---

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

---

Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo  
(Co-orientador)

---

Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

Aos meus pais pela sabedoria, amor,  
compreensão, respeito, incentivos, pelo exemplo  
de caráter, pela alegria de tê-los...

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela paciência, pelas graças, percalços e sobretudo pela presença marcante em minha vida.

A minha família, pelo apoio, incentivo e confiança em mim depositada.

Ao meu orientador e co-orientador, os professores Roberto Alves Braga Júnior e Giovanni Francisco Rabelo, pela amizade, orientação e ensinamentos na condução dos trabalhos.

Aos amigos Lino, Túlio, Adilson, Bruno e Eberson pela colaboração na realização dos trabalhos.

Aos professores e técnicos administrativos do Departamento de Ciência da Computação, Ciências Florestais e Engenharia, pela dedicação e amizade.

Aos amigos de curso e da cidade de Areado, irmãos da República GG e do Alojamento pela amizade, companheirismo, incentivo e pelos momentos de alegria e descontração.

E a todos que contribuíram para minha formação pessoal, profissional e para que este trabalho fosse concluído com sucesso...

Meus sinceros agradecimentos!

## **Resumo**

Diversas áreas como a medicina, biologia e agropecuária frequentemente necessitam de recursos para determinação e análise de superfícies irregulares. A Técnica de *Moiré* surge como uma ferramenta eficaz para construção da perfilometria, contornos topográficos e cálculo deformações. Na agropecuária destaca-se a necessidade de geração de mapas topográficos para determinação de áreas e geração de perfis em corte para determinação de desgaste, por exemplo. O trabalho proposto tem por objetivo observar o comportamento desta técnica na análise de superfícies irregulares, calculando o mapa topográfico de uma ave e a profundidade de deformações presentes em peças de madeira. Os resultados mostram que a técnica é eficiente para análise de estruturas de natureza biológica, sendo sensível com a configuração proposta para reprodução de 0,40 até 130 mm aproximadamente.

**Palavras-chave:** Sensibilidade, escala, rugosidade

## **Abstract**

Diverse areas as the medicine, biology and farming frequently need resources for determination and analysis of irregular surfaces. The technique of *moiré* appears as an efficient tool for construction of the perfilometria, topographical contours and calculation deformations. In the farming, it is distinguished necessity of generation of topographical maps for determination of surface areas and generation of profiles in cut for consuming determination, for example. The considered work has for objective to observe the behavior of this technique in the analysis of irregular surfaces, calculating the topographical map of a chicken and the wooden depth of deformations gifts in parts. The results show that the technique is efficient for analysis of structures of biological nature, being sensible with the configuration proposal for reproduction of 0.40 up to 130 mm approximately.

**Key-words:** Sensitivity, scales and rugosity

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Objetivos.....	2
1.1.1 – Objetivo Geral .....	2
1.1.2 – Objetivos Específicos .....	2
1.2 - Metodologia .....	2
VISÃO DE MÁQUINA E AS TÉCNICAS DE MOIRÉ.....	3
PROPOSTA DE CAPTURA E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	10
3.1 – Geração do mapa topográfico tridimensional da ave .....	12
3.2 – Geração do perfil do relevo para as deformações da madeira.....	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
4.1 – Geração do mapa topográfico tridimensional da ave .....	14
4.1.1 – Abordagem geral .....	15
4.2 – Geração do perfil do relevo para as deformações da madeira.....	16
CONCLUSÕES.....	19
5.1 Trabalhos futuros.....	19
ANEXO A .....	21
ANEXO B .....	22
ANEXO C .....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25



# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Classificação das técnicas perfilométricas ópticas segundo Curless (2001) .....	4
<b>Figura 2:</b> Exemplificação das franjas de <i>moiré</i> .....	5
<b>Figura 3:</b> Processo geométrico de formação das franjas segundo [Cloud, 1998] .....	5
<b>Figura 4:</b> Grades periódicas, a) linhas paralelas, b) pontos equidistantes, c) elipses concêntricas e d) linhas radiais, Mazzeti (2004) .....	7
<b>Figura 5:</b> Franjas obtidas pela técnica de <i>moiré</i> de sombra.....	7
<b>Figura 6:</b> <i>Setup</i> padrão, técnica de <i>moiré</i> de projeção Gomes (2005), para obtenção das franjas, de uma calota .....	8
<b>Figura 7:</b> Desempacotamento de fases – fases desempacotadas de um perfil e fases empacotadas do mesmo perfil .....	9
<b>Figura 8:</b> Objetos iluminados nos ensaios .....	10
<b>Figura 9:</b> Exemplificação da defasagem das franjas de <i>moiré</i> para 4 deslocamentos.....	12
<b>Figura 10:</b> Topografia em corte do perfil da deformação presente na madeira.....	13
<b>Figura 11:</b> Imagens das grades projetadas sobre o animal e do seu respectivo mapa topográfico.....	14
<b>Figura 12:</b> Imagens das grades projetadas sobre o animal e do seu respectivo mapa topográfico.....	15
<b>Figura 13:</b> Imagens das grades projetadas sobre o animal e do seu respectivo mapa topográfico.....	15
<b>Figura 14:</b> Desempacotamento do relevo, linha em corte, evidenciando o perfil da madeira .....	16
<b>Figura 15:</b> Exemplificação da perda de sensibilidade com a redução na escala das deformações de “a” para “b” .....	17
<b>Figura 16:</b> Comparação das medições com e sem a camada de giz de cera sobre as superfícies de madeira .....	17
<b>Figura 17:</b> Diagrama das alternativas para o cálculo da topografia .....	20
<b>Figura 18:</b> <i>Setup</i> para a técnica de <i>moiré</i> de sombra .....	21

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

A análise da perfilometria de materiais biológicos é de suma importância para diversos segmentos do setor agropecuário. Pode-se destacar procedimentos para controle de qualidade de frutos, inspeção e classificação de topografias de objetos em geral e deformações em peças ativas. O processamento digital de imagens viabiliza a determinação de formas, superfícies e possibilita a classificação e avaliação de materiais de formas e comportamentos distintos.

Entre outras aplicações se destaca a determinação de alterações ou defeitos em peças mecânicas oriundos do processo de fabricação ou desgaste natural, o controle de qualidade de operações de preparo do solo, com base na determinação do microrelevo ou rugosidade superficial antes e após o tratamento e a determinação de áreas de aves entre outros animais. Assim, é possível gerar modelos digitais topográficos e linhas em corte do perfil do relevo em materiais estáticos e dinâmicos.

Atualmente, o cálculo da área de alguns animais e o desgaste sofrido por peças de madeira é de suma importância para alguns campos da engenharia. A determinação da área de aves e o cálculo do desgaste são relevantes, pois permitem, respectivamente, calcular a troca de calor realizada entre estes animais e o meio ambiente e observar questões como dureza, resistência e comportamento. Entretanto, os métodos hoje aplicados para o cálculo da topografia de aves tanto quanto para o desgaste sofrido por peças são na maioria das vezes onerosos em razão do dispêndio tempo, recursos financeiros e processos.

Além disso, trabalhar com imagens de materiais biológicos consiste em superar rugosidades de superfícies de materiais como folhas, madeiras e aves. As dificuldades nos processamentos desaceleram o desenvolvimento e o surgimento de novas metodologias, gerando um entrave para o desenvolvimento de áreas que necessitam de procedimentos de comparação, medição e avaliação.

Portanto, pretendendo aumentar as possibilidades para prescrição de formas de objetos e promover uma alternativa para avaliação do perfil de materiais biológicos, pesquisas têm sido desenvolvidas e testadas. Além de minimizar deficiências, aumentar a

agilidade em relação aos artifícios tradicionalmente conhecidos, estas técnicas buscam, sobretudo, aperfeiçoar processos, reduzir custos e aumentar a produtividade.

Alguns métodos possuem a necessidade de estar em contato físico com o material estudado, o que acarreta diminuição da precisão e confiabilidade do processo, não apresentando relação visível com o fenômeno estudado. Outros são poucos didáticos e sujeitos as influências externas como temperatura, pressão e umidade.

Neste ambiente, as técnicas de *Moiré*, apesar de serem técnicas antigas e terem sua eficiência já comprovada para prescrição de formas de objetos estáticos, podem suprir as limitações das metodologias já avaliadas estendendo suas aplicações para construção da perfilometria de materiais biológicos.

## **1.1 – Objetivos**

### **1.1.1 – Objetivo Geral**

Propor um processo de captura e análise de imagens para determinação de forma e superfície de materiais biológicos, com escalas e rugosidades distintas, por meio da Técnica de *Moiré*.

### **1.1.2 – Objetivos Específicos**

- Obter a topografia, num espaço tridimensional, de uma ave, de centenas de milímetros, com irregularidade superficial visível, causada pela presença de suas penas;
- E obter a profundidade de deformações presentes em peças de madeira na escala de décimos a centésimos de milímetros.

## **1.2 - Metodologia**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Laser e Óptica (DEG) da Universidade Federal de Lavras, onde foram realizadas iluminações, medições e processamentos de imagens obtidas pela iluminação da ave e das deformações da madeira de acordo com a Técnica descrita no capítulo 3.

## Capítulo 2

# VISÃO DE MÁQUINA E AS TÉCNICAS DE *MOIRÉ*

“O desenvolvimento crescente e divulgação cada vez mais rápida de produtos, como equipamentos e softwares capazes de avaliar, mensurar e captar informações em tempo real tem permitido a visão de máquina e os sistemas de processamento digital de imagens, detectarem um conjunto extremamente maior de detalhes e características de objetos biológicos e de materiais sensíveis” [Paliwal et al. (2003)].

A imagem multispectral e a espectroscopia infravermelha, usados respectivamente para classificação de condições aves e na identificação de doenças, contaminação ou defeitos em suas carcaças, são, segundo [Park et al. (2000)], métodos de grande destaque na prescrição de superfícies.

Além disso, sistemas ópticos baseados na visão de máquina, são capazes, conforme [Srinivasan et al. (1985)], de avaliar dimensões num plano, tanto quanto, dimensões de produtos manufaturados.

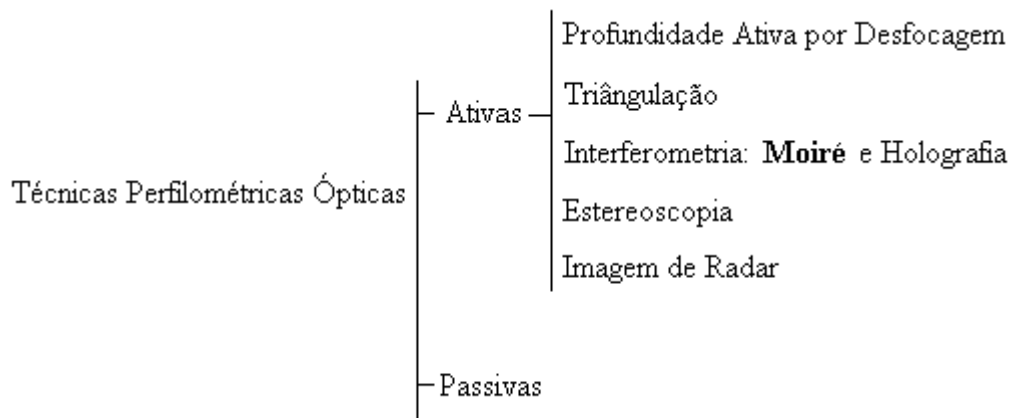
[Park et al. (2000)] destaca ainda que a maioria das tarefas de classificação, verificação e exame são feitos por automatismos humanos e conseqüentemente sua eficácia é passível de erros, fazendo com que a visão de máquina surja como uma tecnologia promissora que é capaz de oferecer processos otimizados com a sensibilidade da visão

A utilização de máquinas capazes de pré-classificar frutas e vegetais aumentou durante os últimos anos ao redor do mundo. Estas permitem uma classificação pela cor, pelo tamanho e pelo peso [Blasco et al. (2003)]. Visto que, a sociedade é cada vez mais exigente quanto à qualidade, estes equipamentos devem ser aperfeiçoados para atender a demanda do mercado consumidor e oferecer um serviço de qualidade. [Blasco et al. (2003)] afirma que a classificação baseada nesta metodologia “apresenta precisão e repetitibilidade similar àqueles sistemas de classificação manual”.

As técnicas para medição do perfil topográfico são divididas em dois grupos segundo [Hu. (2001)], técnicas de contato e técnicas sem contato. No grupo das técnicas de contato, pode-se destacar, conforme [Curless. (2001)], as técnicas não destrutivas –

máquinas para medição de coordenadas e braços articulados – e as técnicas destrutivas – fatiamento. No grupo das técnicas sem contato, pode-se destacar as técnicas refletivas – não ópticas e ópticas – e transmissa.

[Curless. (2001)] classifica ainda as técnicas ópticas em passivas e ativas, sendo estas últimas destacadas de acordo com a Figura 1.



**Figura 1:** Classificação das técnicas perfilométricas ópticas segundo [Curless. (2001)]

[Su & Chen. (2001)] destaca ainda outras técnicas ópticas para construção da perfilometria, das quais pode-se destacar: perfilometria por medição de fase (PMF), perfilometria por transformada de fourier (PTF), detecção espacial de fase (DEF), entre outras.

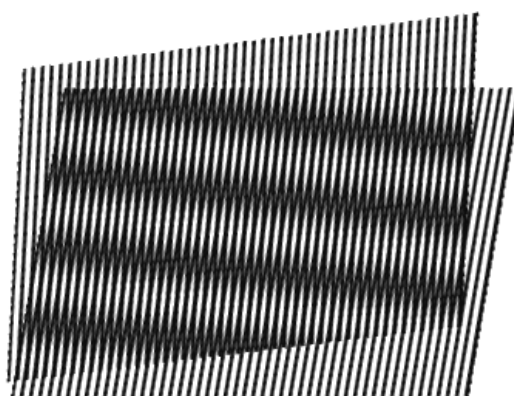
Assim, podemos definir a perfilometria como um conjunto de técnicas responsáveis pela geração de perfis, superfícies e topografias, sendo uma ferramenta de grande utilidade para áreas como a engenharia, computação, robótica, entre outras.

Alguns métodos ópticos automáticos, do grupo das técnicas que não envolvem contato, segundo [Srinivasan et al. (1985)] podem ser reconhecidos rapidamente, tendo vantagens potenciais na medição de objetos diversos de partes de máquinas como de partes do corpo humano.

[Windischbauer. (1982)] exemplifica que muitas destas técnicas podem ser utilizadas para diagnósticos, modelagem de movimentos e previsão de resultados de cirurgias, [Neugebauer et al. (1982)] cita o exemplo de análise da curvatura da espinha dorsal humana por técnicas perfilométricas.

Portanto, para construção da perfilometria, dentre as várias técnicas existentes, [Gomes. (2005)] destaca a holografia, a interferometria *speckle*, a fotoelasticidade clássica e as técnicas de *moiré* como as mais relevantes.

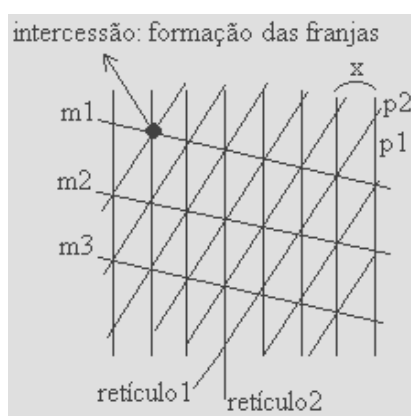
De origem francesa a palavra *Moiré*, lê-se Moarrê, segundo [Sciammarella. (1982)] quer dizer “molhado” e constitui-se um tecido de seda importado da antiga China. Quando há incidência de luz não-coerente, luz comum, e um relativo movimento entre duas camadas deste tecido, ocorre a formação de padrões, franjas de interferência, semelhantes a ondas, denominadas franjas de *Moiré*, como mostra a Figura 2.



**Figura 2:** Exemplificação das franjas de *moiré*

As duas camadas do tecido de seda agem como dois retículos, sendo que um serve de base de referência (retículo de referência –  $R_r$ ) e o outro como modelo (retículo modelo –  $R_m$ ), a captura e processamento destes dois retículos possibilitam a obtenção das franjas e estas, segundo [Assundi & Yung. (1991)], a medição de deformações no plano e fora do plano, contornos topográficos, inclinações, curvaturas e formas em geral de objetos.

Pode-se exemplificar a construção das franjas, pela explicação geométrica do processo, de acordo com a Figura 3.



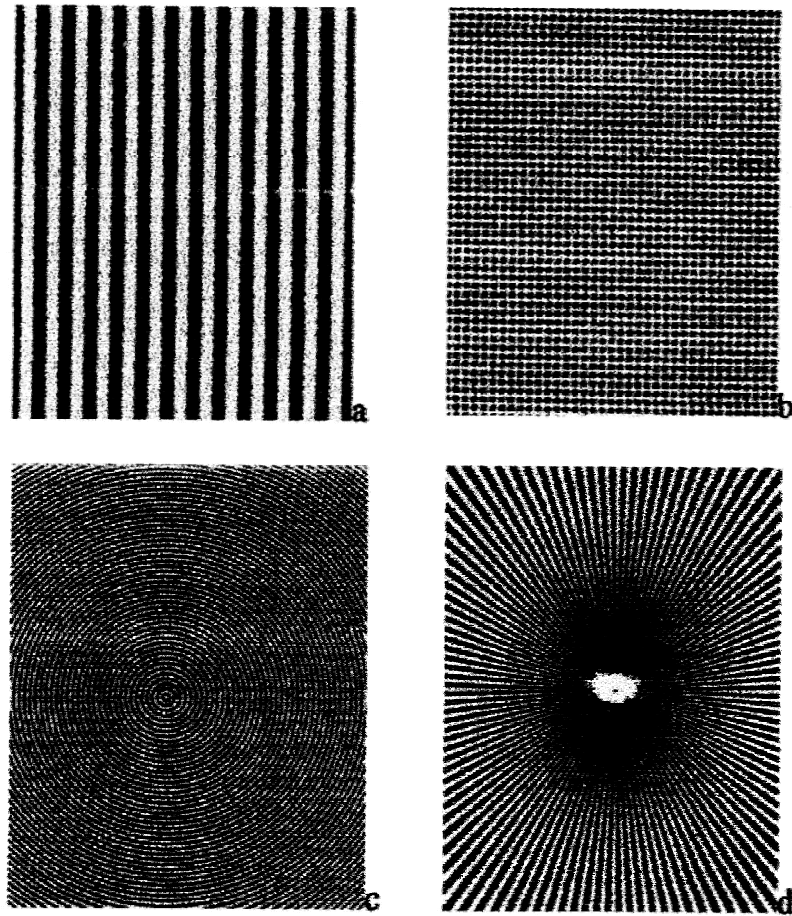
**Figura 3:** Processo geométrico de formação das franjas segundo [Cloud. (1998)]

[Lino. (2002)] explica que a intercessão de dois retículos que possuem linhas equidistantes espaçadas e um deles possui período “ $p_1$ ” (retículo 2) é sobreposto por outro que possui período “ $p_2$ ” (retículo 1) diferente de “ $p_2$ ”, forma um ângulo  $x$  entre as linhas.

Por esta razão, observa-se o aparecimento de um terceiro retículo,  $m$ , que constitui as franjas de *moiré*, formadas pela intercessão das linhas dos retículos.

As técnicas de *moiré* são técnicas didáticas, de fácil experimentação, que não estão sujeitas às condições externas, como temperatura, pressão, apresentando boa relação com o material estudado [Gomes. (2005)]. Além disso, [Lino. (2002)] afirma que “são versáteis, ágeis, confiáveis, apresentam facilidade para coleta e manipulação dos dados e sobretudo não necessitam estar em contato com o material em estudo, podendo ser trabalhadas com materiais sensíveis”.

O efeito “*Moiré*” pode ser obtido de várias formas podemos destacar a Técnica de *moiré* de sombra, modelo de setup figura 18 no Anexo A, e a técnica *moiré* de projeção. Esta última, de acordo com [Mazzeti. (2004)], permite a obtenção deste efeito pela projeção de grades periódicas, constituídas de linhas paralelas ou radiais, círculos ou elipses concêntricas, pontos espaçados, que podem ser equidistantes ou não, de acordo com a Figura 4.



**Figura 4:** Grades periódicas, a) linhas paralelas, b) pontos equidistantes, c) elipses concêntricas e d) linhas radiais, [Mazzeti. (2004)]

As técnicas de *moiré* de sombra e projeção são as mais utilizadas segundo [Hu. (2001)] em razão da sua simplicidade e rapidez na medição, sendo estas muito estudadas e suas aplicações estendidas para diversas áreas do conhecimento.

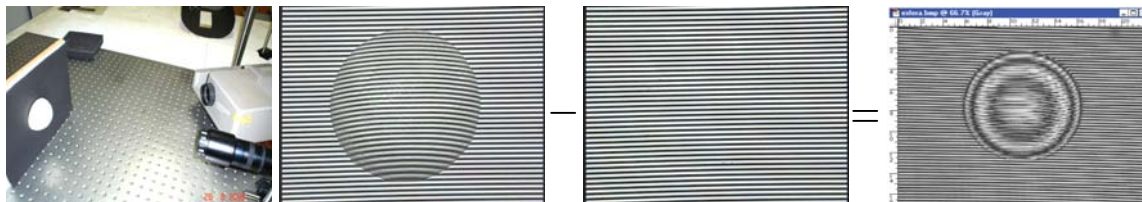
Segundo [Lino. (2002)] quando a iluminação de uma grade se interage com a sua própria sombra projetada no objeto, visualiza-se as franjas instantaneamente pela técnica de *Moiré* de sombra, como mostra a Figura 5.



**Figura 5:** Franjas obtidas pela técnica de *moiré* de sombra



Quando a grade é projetada sobre o objeto e posteriormente sobre o plano de referência, pode-se visualizar as franjas, por meio da diferença das imagens, pela técnica de *moiré* de projeção, como mostra a Figura 6.



**Figura 6:** Setup padrão para o uso da técnica de *moiré* de projeção [Gomes. (2005)] para obtenção das franjas de uma calota

As técnicas de *moiré* podem ser classificadas pelo período, número de pixels entre duas linhas negras, da grade utilizada e pelo tipo de deformação a ser estudado. [Sciammarella. (1982)] classifica os métodos de *Moiré* em técnica de *moiré* intrínseca, técnica de *moiré* de sombra ou *moiré* de projeção e *moiré* de Reflexão.

Segundo [Walker. (1993)], na década de 60 a sensibilidade da técnica de *moiré* estava limitada por grades, que não passavam de algumas linhas por mm (40 linhas por mm), fato este que fez com que, medições de deformações e deslocamento linear permanesse um assunto sem muita importância prática.

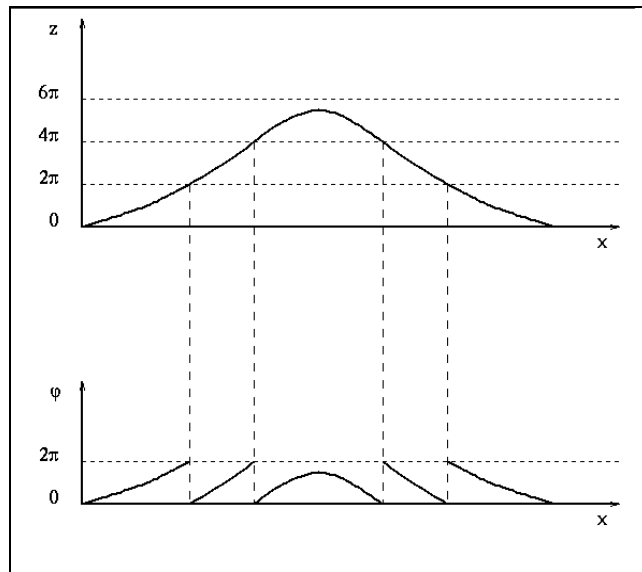
Atualmente, para dar sustentação e base de apoio à técnica de *moiré*, [Shitakubo. (2003)] revela que técnicas como mudança de fase, *phase-shift*, e transformadas de Fourier podem ser aplicadas para um melhor processamento das imagens. [Gavisk. (1983)] acrescenta a multiplicação e interpolação de franjas e técnicas de grades desencontradas para aumentar a sensibilidade.

[Gomes. (2005)] propôs um processo de calibração das imagens obtidas por *Moiré* utilizando um objeto de dimensões conhecidas para encontrar um valor, fator de correção, e assim poder trabalhar com coordenadas de mundo. A partir disto, é possível a verificação, em relação aos valores reais, das coordenadas topográficas geradas pela técnica de *moiré* em relação às coordenadas topográficas reais do objeto avaliado.

O deslocamento, *phase-shift*, desenvolvido por [Dircks et al. (1988)] permite que na reconstrução do relevo, a linha topográfica seja mais suave, acompanhando o contorno e evitando saltos na geração do perfil.

A reconstrução do perfil pelas franjas de *moiré* defasadas, obtidas da diferença da imagem do objeto com cada respectiva imagem do plano deslocado, gera um mapa de fases (variam de  $-\pi$  a  $\pi$ ) e segundo [Lino. (2002)], são chamadas de “fases empacotadas” e

caracterizam as discontinuidades da superfície. Estas discontinuidades quando removidas (desempacotadas) geram o mapa do perfil do objeto avaliado, de acordo com a Figura 7.



**Figura 7:** Desempacotamento de fases – fases desempacotadas de um perfil e fases empacotadas do mesmo perfil

As técnicas de *moiré* foram trabalhadas por [Affonso. (2003)] que utilizou a técnica de *moiré* de sombra para avaliação de deformações em peças de madeira e por [Shitakubo. (2003)] para modelar características físicas de peixes, mostrando que *moiré* se enquadra para estudo em material biológico.

## Capítulo 3

# PROPOSTA DE CAPTURA E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Laser e Óptica (DEG) do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras e a fim de atender os objetivos propostos, a seguinte metodologia foi adotada:

Uma ave, de centenas de milímetros, com rugosidade superficial visível produzida por suas penas e peças de madeira com deformações na escala de décimos a centésimos de milímetros foram utilizados para a aplicação da técnica de *moiré* de projeção. As peças de madeira foram chamadas de 1B\_\*\* referindo-se a blocos ou 1T\_\*\* referindo-se a tocos. As figuras dos corpos de prova são mostrados de acordo com a Figura 8.



**Figura 8:** Objetos iluminados nos ensaios

Foi utilizada uma câmera CCD e um projetor de slides para captura das imagens e projeção dos retículos fotográficos, respectivamente. Além disso, o setup padrão e a metodologia da técnica de *moiré* de projeção proposta por [Gomes. (2005)], onde a câmera foi colocada formando um ângulo de 90° com um plano (anteparo), pintado de branco, e o projetor de slides colocado a um ângulo menor que 90°.

Os retículos foram confeccionados e impressos em papel fotográfico para produzir os slides. Estes foram projetados por um projetor de slides, onde o equipamento foi disposto a uma distância onde se pudesse obter um bom ajustamento da dimensão do retículo sobre o objeto e sobretudo um contraste mais nítido das linhas de grade. Para a madeira foram projetados grades e passo de 0.670 mm e para um frango de corte com 33

dias de idade e massa corporal de 1.7 Kg, grades e passo de 1.00 mm e grades de 2.00 mm com passo de 2.00 e 4.00 mm.

Para o trabalho com a madeira foram feitos 2 tipos de iluminações. Peças foram iluminadas com uma fina camada de giz de cera branco sobre as superfícies e sem nenhuma camada de giz ou tinta branca sobre as superfícies.

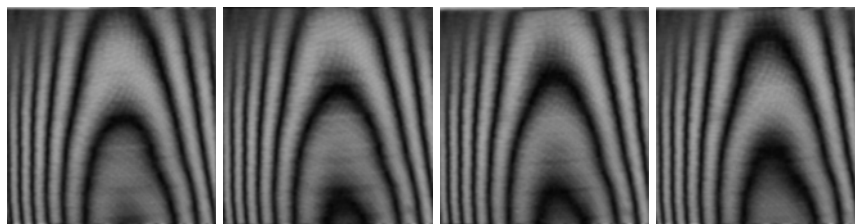
Em cada iluminação as grades foram projetadas sobre as peças e sobre o animal, dando origem ao retículo modelo (Rm). O respectivo objeto era retirado da frente do anteparo e deslocado  $\frac{1}{2}$  do diâmetro do objeto à frente para obtenção do retículo referência (Rr).

As imagens do objeto e do seu respectivo plano, depois de transferidas para o computador, foram trabalhadas em programas de edição de imagens. Nestes, as imagens foram editadas por um filtro gaussiano – eliminadas as partes com ruídos – e passadas para tons de cinza.

Além disso, realizou-se o processo de *phase-shift* para as imagens da ave e das deformações da madeira. A imagem do plano da ave sofreu 3 processamentos, dois processamentos foram testados para 2 tipos de deslocamentos distintos: com 4 e 3 deslocamentos e o terceiro processamento testado para a imagem do plano não-deslocado. O primeiro deslocamento foi igual para ambos os materiais, onde o plano foi deslocado de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  respectivamente da imagem anterior, sendo o próprio plano o primeiro deslocamento. O segundo deslocamento foi realizado somente na imagem do plano da ave, onde este foi deslocado de  $\frac{1}{3}$  e  $\frac{2}{3}$  sendo o próprio plano o primeiro deslocamento.

O processo de *phase-shift* foi realizado da seguinte forma: depois de aberta a imagem do plano num programa de manipulação de imagens, contou-se o número de pixels existentes entre as grades da imagem do plano, ou seja, o passo do plano. Este número foi então dividido por 4 (número de deslocamentos feito) e o resultado gerou o número de pixels a serem deslocados para gerar os novos planos. Assim, foram geradas três imagens defasadas de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , e  $\frac{3}{4}$  da imagem original, completando 4 planos defasados de  $\frac{1}{4}$ .

As imagens defasadas do plano e a imagem do objeto foram abertas num programa de tratamento e edição de fotografias. Neste ambiente, promoveu-se a diferença da imagem do objeto com cada respectivo plano de referência. Os resultados foram 4 imagens dos objetos com franjas de *moiré* defasadas de  $\frac{1}{4}$ , a Figura 9 exemplifica as franjas defasadas.



**Figura 9:** Exemplificação da defasagem das franjas de *moiré* para 4 deslocamentos

A partir daí houve uma bifurcação do processo em relação aos diferentes objetos. As 4 imagens da ave, com franjas de *moiré*, foram levadas para o *software Rinsing Sun Moiré*, [Zywang. (2001)], para geração do mapa topográfico tridimensional da ave e as 4 imagens das deformações da madeira, com as franjas de *Moiré*, levadas para o *software Idea*, [Optics. (2005)], responsável por calcular a linha topográfica em corte do relevo das peças.

### **3.1 – Geração do mapa topográfico tridimensional da ave**

No *software Rinsing Sun Moiré*, [Zywang. (2001)], as 4 imagens da ave com franjas defasadas de  $\frac{1}{4}$  tiveram suas fases calculadas e seu relevo desempacotado.

O desempacotamento da linha topográfica do relevo gerou mapas de 0 a 255 tons de cinza com padrão 8 bits que permitiu a visualização de um mapa tridimensional (3D), evidenciando o comportamento da topografia do objeto, da ave.

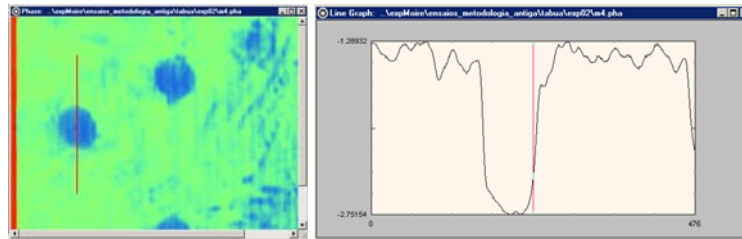
### **3.2 – Geração do perfil do relevo para as deformações da madeira**

No *software Idea*, [Optics. (2005)], as 4 imagens das deformações, com as franjas de *Moiré* geraram uma imagem empacotada do relevo. O software após o desempacotamento permitiu a geração de um gráfico bidimensional (2D) em corte do perfil da madeira, que possuía em sua abscissa escala em pixels e, em sua ordenada, escala em radianos.

Por meio de uma moeda que possuía uma dimensão – altura – bem definida, foi gerado um fator de correção. Este fator permitiu transformar a escala em radianos para

milímetros e a geração de um gráfico com escala em pixels x mm. A obtenção deste fator foi possível dividindo-se a altura real da moeda (2.471 mm) pela altura encontrada no gráfico com escala em radianos (2.514 mm).

Após isso, através do *software Idea*, [Optics. (2005)], foi possível a geração do gráfico da linha topográfica em corte do relevo da madeira. Esta “linha”, traçada verticalmente, percorria a superfície anterior, o fundo e posterior da deformação, sendo possível obter o gráfico da topografia do perfil do material, a Figura 10 exemplifica este processo.



**Figura 10:** Topografia em corte do perfil da deformação presente na madeira

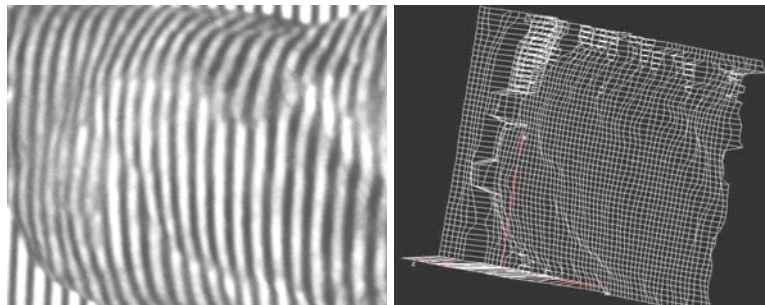
O gráfico do perfil de cada deformação gerado foi corrigido pelo fator de correção calculado e salvo no formato “.dat” para geração da profundidade.

Antes de se obter as médias, da superfície anterior e posterior à deformação e do interior desta, os valores considerados como ruídos foram eliminados. O cálculo da profundidade foi possível através da subtração das médias da superfície pela média no interior da deformação, o que possibilitou a geração de uma curva das médias das profundidades a fim de analisar a sensibilidade da técnica no cálculo de superfícies com deformações em escalas milimétricas.

## Capítulo 4

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

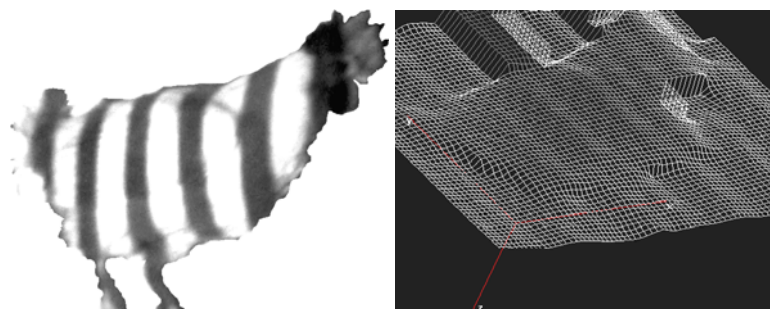
### 4.1 – Geração do mapa topográfico tridimensional da ave



**Figura 11:** Imagens das grades projetadas sobre o animal e do seu respectivo mapa topográfico

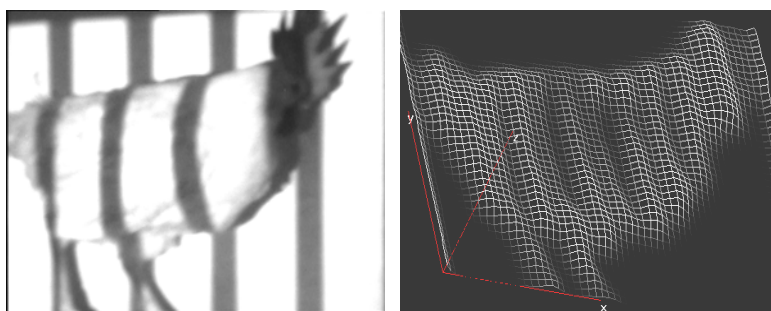
A Figura 11 mostra iluminação parcial do corpo do animal, sem seus pés e cabeça e parte de seu rabo, com grades e passo de 0.670 mm e com 4 deslocamentos de  $\frac{1}{4}$  da grade. A Figura 11 revelou que a topografia da ave pode ser obtida pela técnica de *moiré*, apesar da rugosidade superficial da ave causada pela presença de suas penas, possibilitando o cálculo da área do animal sem que este precise ser abatido, atendendo assim os requisitos de bem estar do animal na pesquisa, economizando tempo, recursos financeiros, e constituindo um processo mais rápido, fácil e confiável em relação aos métodos tradicionalmente conhecidos.

Considerando que a realização de um número menor de deslocamentos pode diminuir a presença de ruídos, no desempacotamento do mapa topográfico e sabendo que o passo, que distancia as linhas de grade, influencia na sensibilidade do resultado, outras grades, com passos maiores, foram utilizadas buscando minimizar a interferência das penas no resultado e assim encontrar uma melhor configuração para obtenção da topografia.



**Figura 12:** Imagens das grades projetadas sobre o animal e do seu respectivo mapa topográfico

A Figura 12 mostra que a tomada de grades de 2 e passo de 2 mm e a realização de 3 deslocamentos, possibilitou, no momento da captura um melhor contraste e nitidez das grades no animal. Entretanto, a geração do mapa topográfico ainda ficou comprometida pela presença de ruídos que impediram a obtenção mais nítida da sua topografia. .



**Figura 13:** Imagens das grades projetadas sobre o animal e do seu respectivo mapa topográfico

A Figura 13 mostra que a tomada de grades de 2 e passo de 4 mm e a não realização de deslocamentos, permitiu a geração de um mapa topográfico com menor número de ruídos e de melhor qualidade. Além disso, é necessário uma edição maior das imagens durante os seus processamentos para fazer com que as “ondas” geradas no corpo do animal na plotagem da sua topografia sejam amenizadas ou extintas.

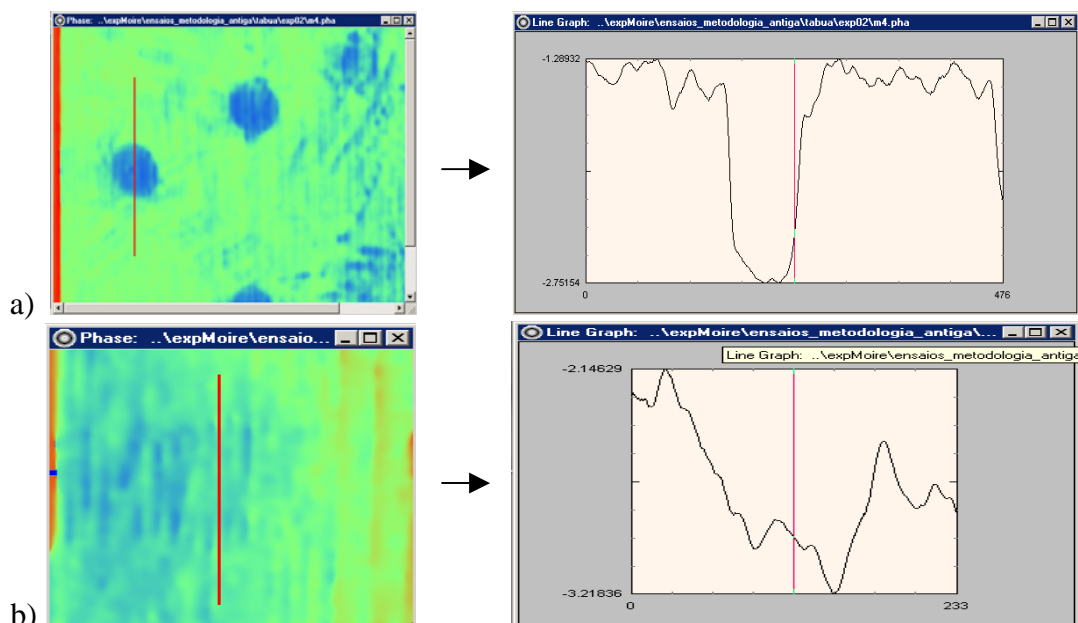
#### **4.1.1 – Abordagem geral**

Ponderando que a redução do número de deslocamentos e o aumento do tamanho das grades e dos seus passos permitiram uma relativa melhora na geração dos mapas topográficos do animal avaliado é de suma importância ressaltar que para cada material biológico estudado existe uma configuração experimental aceitável para geração de sua topografia. Além disso, que um aumento ou diminuição excessiva pode fazer com que haja perda de sensibilidade na visualização do efeito Moiré e que somente a realização de um



menor número de deslocamentos ou não realização destes não garante eficácia e sucesso na aplicação desta metodologia.

## 4.2 – Geração do perfil do relevo para as deformações da madeira



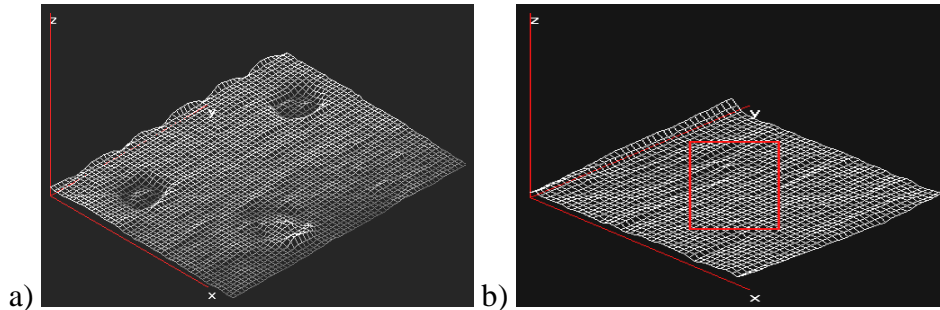
**Figura 14:** Desempacotamento do relevo, linha em corte, evidenciando o perfil da madeira

A iluminação das peças de madeira pela técnica de *moiré* de projeção mostra, de acordo com a Figura 14, um método alternativo para cálculo da topografia em objetos composto por este material.

A primeira topografia mostrada (a), evidencia claramente a presença da deformação no perfil e seu gráfico possibilita que sejam tomados valores para mensuração real da profundidade desta. Atualmente esta medição de desgaste é feita pela diferença apenas de alguns pontos, da superfície e do interior da deformação, gerando medições incertas e possivelmente não tão precisas, já que a madeira não apresenta superfície homogênea e lisa. A possibilidade de se fazer uma medição precisa por este método, uma vez que podem ser tomados todos os pontos para o cálculo da diferença entre superfície e interior da deformação, mostra um método mais confiável, menos oneroso e rápido.

A segunda topografia mostrada (b) esclarece que ao se reduzir o perfil na escala de décimos a centésimos de milímetros há uma perda de sensibilidade, ocorrendo a presença

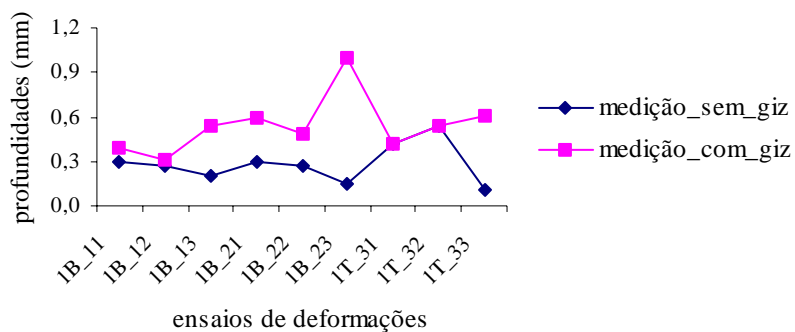
de pontos de inflexão e a geração de um gráfico, acidentado, que compromete o cálculo da profundidade do desgaste, tornando a proposta de cálculo pela técnica dispendiosa e não tão confiável.



**Figura 15:** Exemplificação da perda de sensibilidade com a redução na escala das deformações de “a” para “b”

A Figura 15 (a e b), proveniente do *software Rinsing Sun Moiré* [zywang. (2001)], exibindo as deformações presentes no mapa topográfico da peça de madeira, reafirma a perda de sensibilidade, ao se reduzir à escala das deformações de “a” para “b”, uma vez que os procedimentos, a metodologia, para o cálculo do desgaste, profundidade, foram os mesmos para ambas a peças.

Em relação à camada de giz de cera passada sobre cada superfície de madeira, a fim de melhorar o cálculo da profundidade das mesmas, algumas considerações podem ser feitas de acordo com a Figura 16:



**Figura 16:** Comparação das medições das profundidades das deformações com e sem a camada de giz de cera sobre as superfícies de madeira

A camada de giz de cera sobre cada superfície de madeira possibilitou que o processo de captura e processamento das imagens fosse menos custoso, pois foi possível obter um maior contraste e conseqüentemente uma melhor visualização das deformações presentes. Entretanto, como o processo de espalhamento do giz de cera era feito manualmente, ocorreu que a camada de giz aplicada sobre cada superfície fosse diferente

uma da outra. Assim, não foi possível estabelecer um critério confiável de medição já que não se podia estabelecer um limiar a respeito do degrau adicionado ou não pelo giz em relação às deformações. O gráfico mostra que algumas deformações tiveram um salto expressivo, que foi comprovado pelo aumento da profundidade do desgaste, mas outras tiveram uma pequena ou nenhuma camada de giz adicionada.

Dessa forma, pode-se afirmar que o giz de cera para a situação de cálculo das profundidades pode ser capaz de alterar resultados e causar possíveis erros, não sendo de acordo com a metodologia adotada, um bom recurso a ser utilizado.

Considerando a ampla variação de valores ao longo das superfícies devido à perda de sensibilidade em razão da redução da escala, deformações com profundidades na escala de décimos a centésimos de milímetros, e da rugosidade da madeira, os valores obtidos sem a presença da camada de giz de cera, estão inseridos dentro de uma média de profundidade de aproximadamente 0.4 mm com um desvio padrão de 0.04 mm, dentro de uma linha de tendência, com exceção dos valores referentes aos blocos “1B\_11” e “1B\_12”, da curva sem giz, que tiveram um pequeno salto e um desvio em relação à média do restante.

# Capítulo 5

## CONCLUSÕES

A técnica de *moiré* mostra-se como uma técnica viável para análise de objetos com escalas e rugosidades distintas, e uma alternativa para a análise de superfície e para o cálculo do perfil de objetos com irregularidades superficiais visíveis, permitindo o cálculo de topografias de aves e profundidades de deformações presentes em madeira.

É relevante destacar que mudanças básicas nas malhas utilizadas para projeção nos objetos foram suficientes para o cálculo do perfil, não havendo a necessidade de mudança na metodologia de processamento das imagens.

Além disso, que os recursos computacionais e digitais somados a uma boa configuração do *setup* são imprescindíveis para a obtenção de bons resultados, uma vez que maximizar fatores como contraste e nitidez, melhora a sensibilidade do processo e é fator fundamental para uma boa captura, processamento e para obtenção da topografia pretendida.

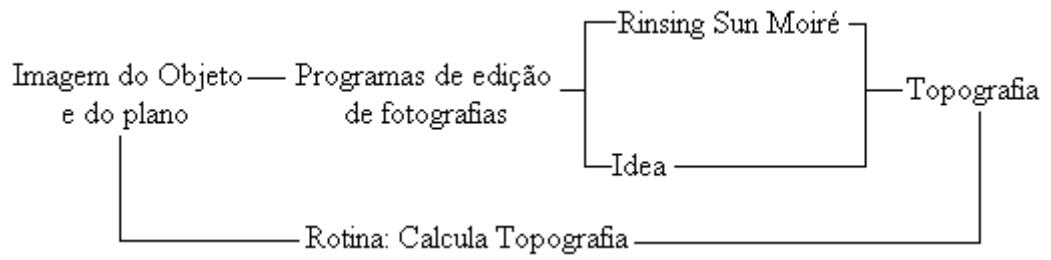
### 5.1 Trabalhos futuros

Visando alcançar um nível maior de precisão na geração do mapa topográfico da ave, propõe-se iluminar a ave com grades com passo de tamanho intermediário das testadas anteriormente, espessura de 1mm e passo variando entre 0.670 e 1.5 mm, uma vez que o efeito *Moiré* para esta configuração pode ser mais nítido e os resultados mais satisfatórios.

Para a madeira, propõe-se a aplicação e teste da técnica de *moiré* de sombra, uma vez que as deformações são muito pequenas e a defasagem das franjas provocadas por esta técnica nas extremidades do material avaliado, não será fator limitante, propiciando que a condensação das franjas no interior da fenda torne o processo mais eficiente.

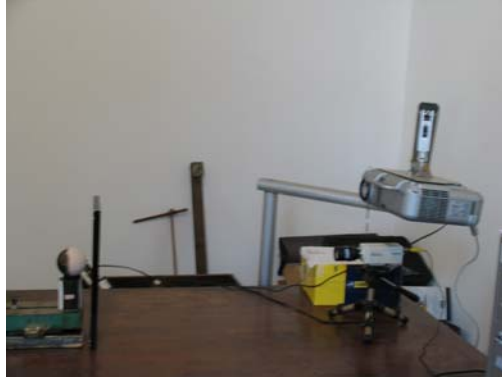
Simultaneamente, a utilização do código presente no Anexo C, desenvolvido ao final da execução deste projeto, como uma alternativa de metodologia para processamento e cálculo do *moiré* destas imagens, uma vez que sua execução torna a metodologia

automática, eficiente e rápida, encurtando os caminhos para geração dos resultados como mostra a Figura 18.



**Figura 17:** Diagrama das alternativas para o cálculo da topografia

# ANEXO A



**Figura 18:** Setup para a técnica de *moiré* de Sombra

# ANEXO B

## SENSIBILIDADE DA TÉCNICA DE *MOIRÉ* NA PERFILOMETRIA DE PROTÓTIPOS\*

Ricardo Marques da Costa, bolsista do PIBIC/CNPq, 7º módulo de Ciência da Computação; Roberto Alves Braga Jr, Orientador – DEG; Giovanni Francisco Rabelo, Co-orientador – DEG. \*Financiado pelo PIBIC/CNPq.

Os equipamentos de prescrição da superfície de objetos, e diversos materiais aplicados ao cotidiano da engenharia, ainda possuem limitações. Isto ocorre, em alguns casos, pelo fato de haver a necessidade do isolamento do elemento estudado, existir a necessidade de contato entre o sensor e a superfície, o que dificulta o processo de análise de protótipos, ou por se tratar de objetos de dimensões e contribuições variadas. A técnica de *Moiré* consiste num conjunto de procedimentos usados para medição de deformações no plano e fora do plano, inclinações, forma geral de objetos, além de se apresentar como uma ferramenta de medição indireta de perfis. Este trabalho tem por objetivo observar o comportamento desta técnica no cálculo da topografia de objetos de tamanhos e contribuições distintas, buscando definir padrões, limites que restringem sua utilização e conseqüentemente obter resultados que comprovem uma alternativa para cálculo da topografia destes objetos. No trabalho, foi utilizada uma ave, de centenas de milímetros, e diferentes superfícies de madeira com deformações também na escala de milímetros. Estes objetos foram iluminados por uma luz não-coerente e suas imagens trabalhadas por recursos computacionais, de processamento de imagens, presentes no Laboratório de Laser da Universidade Federal de Lavras. Os resultados mostram que a técnica foi efetiva no cálculo da topografia destes corpos de prova, existindo um limite mínimo no tamanho das peças, na ordem de  $4 \times 10^{-1}$  mm aproximadamente. Além disso, evidenciam que a configuração experimental deve ser ajustada para atender diferentes ordens de grandeza e constituição do perfil.

**Palavras-chave:** dimensões variadas, técnica de *Moiré*, recursos computacionais.

# ANEXO C

```
// 18/Agosto/2006
//
//
// Calcula Topografia - Gera uma superficie tridimensional de um objeto sem
// recortá-lo (aplicar treshold) e traz o plano para o nivel médio deste objeto
//
//
// Copyright to: Bruno S. Oliveira, Antônio C.L. Lino , Ricardo M. Costa
//
// Modo de execução: Deve-se passar o diretório onde estão armazenadas
// as imagens do objeto, das grades sobre o mesmo, e das suas respectivas
// grades deslocadas. Deve-se tomar cuidado no nome ao salvar cada imagem
// capturada, uma vez que no código estão descritas como: Objeto10,
// Objeto11, Gradel.bmp, Grade2.bmp, Grade3.bmp, Grade4.bmp. Dessa forma
// devem ser salvas com estes nomes, ou feita uma alteração no código para
// uma eventual mudança dos mesmos.
//
// Observação: A construção do mapa tridimensional talvez possa conter alguns
// ruídos, isto talvez ocorra em razão do desempacotamento adotado.
// Para esta correção basta alterar as opções no código
// correspondente ao Desempacotamento do Mapa de Fases.
//
//

stacksize(4e7);
chdir('C:\WINDOWS\Desktop\medicao');

// ***** Constantes *****
FC_largura = 1;
FC_altura = 1;
FC_cota = 6.5;
tresh=170;

dimensao='128x96'; // Define o novo tamanho da imagem (5x menor)

//***** Ler imagens das grades *****
Gradel = gray_imread('G1.bmp');
Grade2 = gray_imread('G2.bmp');
Grade3 = gray_imread('G3.bmp');
Grade4 = gray_imread('G4.bmp');

//***** Facel - Processamentos - *****

//Ler imagens
Objeto10 = gray_imread('Objeto10.bmp');
Objeto11 = gray_imread('Objeto11.bmp');

//Cria Mascara de corte de fundo (background)
Objeto10 = gsm2d(Objeto10,10);
Cortel = im2bw(Objeto10,0.70);

// unir objeto e plano
t1 = Cortel.*Objeto10;
t1 = t1.*Objeto11;
t2 = Cortel+1;
t2(find(t2==2))=0;
t2 = t2.*Gradel;
```



```

Objeto11 = t1 + t2;

imwrite(Objeto11,'Uniao_OP.jpeg'); //salva a imagem do objeto "colado" ao plano

//Subtrair imagem do objeto das imagens das grades
s1 = abs(Objeto11-Grade1);
s2 = abs(Objeto11-Grade2);
s3 = abs(Objeto11-Grade3);
s4 = abs(Objeto11-Grade4);

//Remover grades : Filtro Gaussiano
Moire1 = gsm2d(s1,15);
Moire2 = gsm2d(s2,15);
Moire3 = gsm2d(s3,15);
Moire4 = gsm2d(s4,15);

//Gerar 3D de uma face
Empacotada = normal(imphase('bucket4a',0,Moire1,Moire2,Moire3,Moire4));

//Desempacotamento do Mapa de Fases
meritfunc = abs(imconv(Empacotada,mkfilter('circular')));
//meritfunc = abs(imconv(Empacotada,mkfilter('circular-mean',15)));
//calcular "merit function"
//meritfunc = imvariance(Empacotada); //calculate a "merit function"
//meritfunc = imconv(Empacotada,mkfilter('laplace1'));
//meritfunc = abs(imconv(Empacotada,mkfilter('low-pass')));
//Topo = unwrapl(Empacotada);
Topo = unwrapp(Empacotada,meritfunc,320,240); // "unwrapp" mapa de fases

Topo_normal = 255*normal(Topo); //Topo_normal = Topo;
Topo_normal = gsm2d(Topo_normal,15); //Suavisacao Gaussiana - remover ruidos

xset("window",1);
xbasec();xselect();plot3d1(1:4:size(Topo_normal,'r'),1:4:size(Topo_normal,'c'),Topo_normal(1:4:$,1:4:$));

xtitle("unwrapped phase in 3D");

```

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Affonso. (2003)] Affonso, E. A.; Fabbro, I. M.; Demarzo, M. A. Application of a *Moiré* Technique in Studying Wooden Structural connections. International Congress On Information Technology In Agriculture, Food And Environment, Izmir. Itafe ' 03. Izmir, p. 608-611, Turkey: Kamil Okyay Sindir, 2003.
- [Assundi & Yung. (1991)] Assundi, A.; Yung, K. H. Logical *Moiré* and its application. Experimental Mechanics, v.31, n.3, p. 236-242, Set, 1991.
- [Blasco et al. (2003)] Blasco, J.; Aleixos, N.; Moltó, E. Machine Vision System for Automatic Quality Grading of Fruit. Journal of Agricultural Engineering Research., June. 2003, 85(4), 415-418
- [CLOUD. (1998)] CLOUD, G. Optical methods of engineering analysis. Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- [Curless. (2001)] Curless, B. Siggraph 99 Course on 3D Photography: Overview of Active Vision Techniques. <http://www.cs.cmu.edu/~seitz/course/SIGG99/slides/curless-active.pdf>, visitado em 15/08/2006.
- [Dircks et al. (1988)] Dirks, J.J.J.; Decraemer, W.F.; Dielis, G. Phase Shift method based on object translation for full field automatic 3D surface reconstruction from *Moiré* topograms. Applied Optics. Washington. v.27, n.6, p.1164-1169, mar., 1988.
- [Gavisk. (1983)] Gasvik, K.J. *Moiré* techniques by means of digital image processing. Applied Optics. Washington. v.22, n.23, p.33543-3548, set, 1983.
- [Gomes. (2005)] Gomes, T.S. Interferometria Speckle e *Moiré* Geométrico aplicados à perfilometria de protótipos mecânicos. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.
- [Hu. (2001)] Hu, Q. 3-D Shape measurement techniques. <http://www.sinc.sunysb.edu/Stu/qhu/Chapter1.htm>, visitado em 15 de Agosto de 2006
- [Lino. (2002)] Lino, A. C. L. Técnica óptica de *Moiré* visando a aplicação no estudo de superfícies irregulares. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.
- [Mazzeti Filho. (2004)] V. Utilização da interferometria de *Moiré* no estudo de tensões dinâmicas em discos flexíveis. Dissertação de mestrado (mestrado em engenharia agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.
- [Neugebauer et al. (1982)] Neugebauer, H.; Widischbauer, G. *Moiré* Topography Scoliosis Research. In: Optical in Biomedical Sciences: Spring Series in Optical Science. Ed. VON BALLY, G.; GREGUSS. P. v.20, p.251-257, 1982.

- [Paliwal et al. (2003)] Paliwal, J.; Visen, N. S.; Jayas, D. S. White, N.D.G. Cereal Grain and Dockage Identification using Machine Vision. *Journal of Agricultural Engineering Research*, June. 2003, 85(1), 51-53
- [Park et al. (2000)] Park, B.; Chen, Y.R. Multispectral image co-occurrence matrix analysis for poultry carcasses inspection. *Transactions of the ASAE*. St. Joseph, v. 39, n.4, p.1485-1491, 1996.
- [Sciammarella. (1982)] Sciammarella, C. A. The *Moiré* method - A review. *Experimental Mechanics*, v.44, n.8, pp. 418-433, Nov, 1982.
- [Shitakubo. (2003)] Shitakubo, F.; Fabbro, I. M.; Lino, L. A. O. *Moiré* Interferometry Applied to Support Fish. In: *International Congress On Information Technology In Agriculture, Food And Environment*, Izmir. Itafe 03. Izmir, Turkey:Kamil Okyay Sindir. p. 604-607. 2003.
- [Optics. (2005)] Software "Idea. <<http://www.Optics.tu/graz.ac.at/idea/download>>. Visitado em 10/07/2006.
- [Srinivasan et al. (1985)] Srinivasan, V.; Liu, H.C.; Halioua, M. Automated phase-measuring profilometry: a phase mapping approach. *Applied Optics*. v.24, n.2, p.185-186, jan., 1985.
- [Su & Chen. (2001)] Su, X.; Chen, W. Fourier transform profilometry: a review. *Optical Engineering*. v.31, n.4, p.263-284. 2001.
- [Walker. (1993)] Walker, C.A. A historical review of *Moiré* Interferometry. *Experimental Mechanics*. n.14, p.281-299, oct., 1993.
- [Windischbauer. (1982)] Windischbauer, G. Survey on application of *Moiré*-techniques in medicine and biology. In: *Optical in Biomedical Sciences: Spring Series in Optical Science*. Ed. VON BALLY, G.; GREGUSS. P. v.20, p.245-249, 1982.
- [Zywang. (2001)] Zywang, W. Rising-Sun Moire: Software. [http://www.glue.umd.edu/~zywang/download\\_moire.htm](http://www.glue.umd.edu/~zywang/download_moire.htm), visitado em 06/09/2001.