



**MÁRCIO JOSÉ CHAVES**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA  
METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO  
BIOSPECKLE LASER COM PORTABILIDADE,  
ACESSIBILIDADE E ROBUSTEZ**

**LAVRAS - MG**

**2011**

**MÁRCIO JOSÉ CHAVES**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO  
BIOSPECKLE LASER COM PORTABILIDADE, ACESSIBILIDADE E  
ROBUSTEZ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para obtenção de título de Mestre.

Orientador

Dr. Roberto Alves Braga Júnior

**LAVRAS - MG**

**2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Chaves, Márcio José.

Desenvolvimento de uma metodologia para análise do  
biospeckle laser com portabilidade, acessibilidade e robustez /

Márcio José Chaves. – Lavras : UFLA, 2011.

92 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Roberto Alves Braga Júnior.

Bibliografia.

1. Speckle dinâmico. 2. Secagem de tinta. 3. Minimicroscópio. 4.  
Webcam. 5. Mouse óptico. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD – 621.367

**MÁRCIO JOSÉ CHAVES**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO  
BIOSPECKLE LASER COM PORTABILIDADE, ACESSIBILIDADE E  
ROBUSTEZ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para obtenção de título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2011.

Dra. Juliana Vilela Lourençoni Botega	CEFET-MG
Dr. Giovanni Francisco Rabelo	UFLA
Dr. Danton Diego Ferreira	UFLA

Dr. Roberto Alves Braga Júnior  
Orientador

**LAVRAS -MG**

**2011**

Aos meus pais, pois só se aprende pelo exemplo.  
Exemplo de amor, carinho, dedicação, humildade,  
responsabilidade e honestidade. Por esses exemplos  
aprendi a viver.

A tia Nini, pelo exemplo de vida e dedicação a  
toda família.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Senhor Deus que permitiu minha existência bem como a competência concedida para me dedicar a este trabalho, contribuindo para minha formação profissional e principalmente pessoal.

Aos meus pais Lázaro e Marli, pela educação, amor e carinho, e acima de tudo por sempre me apoiarem em minhas atividades, ensinado-me a honrar meus princípios e a lutar pelos meus objetivos.

A minha irmã Marina, pelo exemplo de dedicação e profissionalismo, sem contar no apoio de suas palavras que me incentivaram muito.

A tia Nini, por suas orações, carinho e principalmente pelo seu ensinamento de vida.

Aos meus irmãos Mário e Marcos e a toda minha família pela expectativa de mais um Mestre na família, em especial (*in memoriam*) meus avós Joaquim e Donária, pelo exemplo de vida, companheirismo e humildade.

Ao professor Roberto, pela orientação, amizade, apoio, dedicação e muita paciência nessa jornada.

Aos meus companheiros de CEDIA, Kleber, Robinho, senhor Antônio, Cardoso, Isise Tampico, pela força e companheirismo nas disciplinas, trocas de ideias e sugestões nos experimentos realizados, sem contar nos momentos de descontração e boas risadas ao longo do curso.

Ao meu amigo Rodrigo Reis, pelo coleguismo e empenho nas disciplinas de RNA e Séries Temporais.

Aos alunos de iniciação científica, Nozela e Michel, pela ajuda e espírito de equipe durante essa jornada de trabalho, conhecimentos e conquistas.

Aos meus amigos que tanto estimo, Livinha, Andinho, Itagildo e Deco, pelas conversas descontraídas, conselhos, sentimentos de apoio nos momentos difíceis e companheirismo incondicional.

Agradeço também pela confiança dos meus ex-professores e colegas de trabalho Carlos (Digui) e Gabriel, pelos ensinamentos e principalmente pela confiança depositada em mim na realização do mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, por se dedicarem à arte de lecionar e contribuir para minha formação e de meus colegas.

Ao professor Tadayuki, coordenador do programa, pelo exemplo de profissionalismo, ética e disciplina, além do seu empenho inquestionável para minha formação e conclusão deste curso.

À FAPEMIG, pelo incentivo às pesquisas e apoio financeiro dos trabalhos realizados.

Aos funcionários, Greice, dona Josélia e dona Neusa, pela prestação dos trabalhos, pelos cafezinhos, conversas e momentos de descontração.

A todos vocês o meu muito obrigado por permitirem participar de suas vidas e assim crescermos juntos.

***Que Deus abençoe todos vocês!***

*"Pensamentos tornam-se ações, ações tornam-se  
hábitos, hábitos tornam-se caráter, e nosso caráter  
torna-se nosso **DESTINO**."  
(a/d).*

## RESUMO

Atualmente diversas tecnologias de aquisição de dados têm permitido a interatividade entre o homem e os fenômenos físicos e biológicos que o cercam. Portanto, essas tecnologias vêm contribuindo tanto nas áreas científicas quanto na indústria. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta algumas aplicações nas quais é possível a coleta de dados em formas de imagens, utilizando dispositivos portáteis digitais de baixo custo para aquisição dados para análise, utilizando a técnica do *specklelaser*. Tais dispositivos estão presentes no dia a dia, como o caso de *webcams* e *mouses* ópticos. Outro equipamento, menos presente e de custo um pouco mais elevado, mas que usufrui de mesma tecnologia de aquisição é o mini-microscópio, que possui maior capacidade de resolução de imagens e também uma capacidade de aproximação bastante elevada. Dentre outras vantagens, esse equipamento é de simples utilização e sua conexão ocorre através de porta USB, sem a necessidade de uma placa dedicada ao seu funcionamento. A utilização desses equipamentos e sua validação aconteceram no CEDIA, e os experimentos realizados foram baseados em outro trabalho conhecido na literatura, que se trata do monitoramento de secagem de tinta. O *mouse* óptico, em caráter especial, passou por outros testes, que foi de acompanhamento de sua movimentação em tela quando excitado pelo reflexo do laser incidido sobre outro material em movimento. As imagens coletadas por esses dispositivos foram submetidas às análises de momento inércia, e em experimentos com maior número de dados foi realizado o teste de análise de variância para auxiliar nas conclusões. Os resultados obtidos mostraram que tais dispositivos são capazes de oferecer dados adequados para análise da técnica do *speckle laser*, quando empregados na coleta de imagens. De modo especial, o mini microscópio contribuiu com melhor desempenho, porém a webcam que é um equipamento de fácil aquisição e manuseio pode ser utilizada como um ponto de partida na avaliação de novos experimentos.

Palavras-chave: Portabilidade. Speckle dinâmico. Secagem de tinta. Equipamentos portáteis. Minimicroscópio. Webcam. Mouse optico.

## ABSTRACT

Currently, several technologies for data acquisition has allowed the interaction between man and the physical and biological phenomena that surround him. However, these technologies have been contributing to science and industry area. Therefore, this paper shows some applications where it is possible to collect data in forms of digital images using portable devices of low cost for data acquisition to analysis using the speckle laser technique. Such devices are present in the everyday, as the case of webcams and optical mice. Other equipment, less present and little higher cost, but that use the same technology of acquisition is the minimicroscope, which has higher resolution power of images and also a very high approximation capability. Another advantage this equipment is simple use and your connection by USB, without the need of a dedicated card for its operation. The use this equipment's and its validation were realized at CEDIA, and the experiments were based another work known in the literature, it is the monitoring of the drying paint. The optical mouse in special feature was used in other tests, which has been monitoring their movement on the screen when excited by the reflected laser illuminating other surface in motion. The images collected by these devices were analyzed for inertia moment, and in experiments with larger number of data was realized using variance analysis to support the conclusions. The results showed that these devices are able to offer adequate data for analysis of speckle technique when used in the collection of images. In particular the mini microscope contributed to better performance, but the webcam is an equipment of easy use and can be used as a starting point for evaluating new experiments.

Keywords: Portability. Dynamic speckle. Drying ink. Portable. Minimicroscópio. Webcam. Optical Mouse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Princípio de funcionamento de sensor CCD. Adaptado de Litwiller (2001).....	19
Figura 2	Princípio de funcionamento de sensor CMOS. Adaptado de Litwiller (2001).....	20
Figura 3	Comparação de imagens tiradas com sensores CCD e CMOS – Adaptado de Holst (2009).....	23
Figura 4	Arranjo experimental para avaliar a viscoelasticidade de um filme de polímero – Adaptado de Ng (2004).....	26
Figura 5	Arranjo experimental para avaliação de vibração de corpos. Adaptado de Ng. (2004).....	28
Figura 6	Arranjo experimental do mouse óptico, fazendo leitura de um manômetro. Adaptado de Ng,Cheong e Sheridan (2007).....	29
Figura 7	Arranjo experimental utilizado na correlação de movimentos do mouse e incidência de feixe de laser. Adaptado de Ng. e Carne (2007).....	30
Figura 8	Protótipo de mouse para aquisição de imagens. Adaptado de Liao et al. (2009).....	31
Figura 9	Modelo de espectrofotômetro utilizando webcam. Adaptado de Alves et al (2009).....	33
Figura 10	Arranjo experimental utilizado por Pomarico et al.(2004)..	35
Figura 11	Arranjo experimental utilizado na avaliação de sêmen. Adaptado de Carvalho et al. (2009).....	36
Figura 12	Equipamento para uso do biospeckle em secagem de tinta de forma comercial.....	37
Figura 13	Arranjo experimental proposto por Nieri et al.(2009).....	37
Figura 14	Arranjo experimental utilizado na avaliação do minimicroscópio.....	39
Figura 15	Arranjo experimental para captura de imagens utilizando a webcam.....	42
Figura 16	Mouse sendo usado para monitorar flexão de madeira.....	45
Figura 17	Uso do mouse na monitoração de frequência cardíaca.....	46
Figura 18	Monitoração de movimento do olho artificial.....	48
Figura 19	Mouse adaptado para captura de imagens.....	49
Figura 20	Arranjo experimental do mouse adaptado para captura de imagens.....	49
Figura 21	Análise de variância para os dados sem ajuste de foco.....	54

Figura 22	Análise de variância para os dados com ajuste de foco.....	54
Figura 23	Teste de Tukey para os resultados dos dados sem ajuste de foco.....	55
Figura 24	Teste de Tukey para os resultados dos dados com ajuste de foco.....	55
Figura 25	Incidência e reflexão do laser, dados gravimétricos e MI...	63

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Dados gravimétricos de secagem de tinta.....	51
Gráfico 2	Dados de MI sem ajuste de foco.....	52
Gráfico 3	Dados gravimétricos juntamente com dados de MI com ajuste de foco.....	53
Gráfico 4	Dados de MI utilizando webcam.....	56
Gráfico 5	Caminho percorrido pelo cursor do mouse em tela.....	58
Gráfico 6	Resultado de monitoração de madeira.....	59
Gráfico 7	Caminho percorrido pelo mouse durante monitoramento de pulso.....	60
Gráfico 8	Representação gráfica do movimento da artéria radial.....	60
Gráfico 9	Representação da movimentação do olho artificial.....	62

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	16
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b> .....	18
<b>3.1</b>	<b>Sensores CCD e CMOS</b> .....	18
<b>3.2</b>	<b>Mouse óptico</b> .....	24
<b>3.3</b>	<b>Webcam</b> .....	31
<b>3.4</b>	<b>Minimicroscópio portátil</b> .....	33
<b>3.5</b>	<b>O biospeckle laser, métodos de análise e aplicações</b> .....	34
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	38
<b>4.1</b>	<b>Experimento de validação do microscópio digital portátil</b> .....	38
<b>4.2</b>	<b>Teste de captura de dados para análise do <i>Speckle Laser</i> utilizando uma <i>Webcam</i></b> .....	42
<b>4.3</b>	<b>Mouse Óptico como sensor de <i>Biospeckle</i></b> .....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	51
<b>5.1</b>	<b>Experimento de validação do microscópio digital portátil</b> .....	51
<b>5.2</b>	<b>Teste de captura de dados para análise do <i>Speckle Laser</i> utilizando uma <i>Webcam</i></b> .....	56
<b>5.3</b>	<b>Mouse Óptico como sensor de <i>Biospeckle</i></b> .....	58
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	65
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	67
	<b>ANEXOS</b> .....	74

## 1 INTRODUÇÃO

Em maio de 1960, Theodore H. Maiman deu uma grande contribuição para a ciência com a invenção do Laser, a qual lhe foi reconhecida com o prêmio Nobel em 1964. Nesses cinquenta anos de história, essa valiosa descoberta tem apoiado cientistas, pesquisadores, médicos e outros profissionais nas mais diversas áreas do conhecimento, pesquisa e indústria.

O princípio básico de funcionamento do *laser* está baseado nas leis fundamentais da interação da radiação luminosa com a matéria. Mais especificamente, o laser é resultado de um fenômeno denominado emissão estimulada. E daí vem seu nome: *laser*, em inglês, significa luz amplificada pela emissão estimulada de radiação. Atualmente, o laser está presente nas mais diversas áreas, desde a residencial, passando pela indústria, medicina e também na área militar. Entre essas aplicações, pode-se destacar a sua adoção como instrumento de medida, e que pode ser usado por diversas abordagens, entre elas a do speckle dinâmico. O speckle dinâmico pode ser considerado como uma recente tecnologia de medida, uma vez que seus primeiros registros datam de 1970. Nesses últimos 40 anos, muitas aplicações foram registradas, bem como foram apresentadas várias formas de se obter dados e analisar seus padrões de interferência. Apesar do aumento das aplicações e técnicas de análise, muitas delas ainda ficavam restritas ao ambiente de um laboratório de física, onde é possível controlar as interferências externas como vibrações e outras formas de iluminação. Apenas as aplicações onde o tempo de observação era levado ao limite mínimo, como é o caso da técnica do contraste, foram então libertas do ambiente laboratorial, enquanto as que demandavam o tempo como importante variável ficaram ainda limitadas ao laboratório.

O tempo não era a única razão para limitar o uso do *speckle* dinâmico fora do ambiente laboratorial, uma vez que ainda o uso de grandes lasers de HeNe, câmeras CCD e computadores desktops necessários para receber as placas de aquisição de imagens eram imprescindíveis. Todavia com a grande evolução da eletrônica digital, e de lasers de estado sólido cada vez mais estáveis e menores, foi possível contar com dispositivos que poderiam mudar essa limitação.

Uma das consequências dessas limitações foi a de se manter restrita aos ambientes dos laboratórios de física o conhecimento e uso do *biospecklelaser*, o que impedia o uso mais intenso por engenheiros e profissionais não acostumados com a teoria e a matemática necessária para se conseguir resultados.

Visando a oferecer maior flexibilidade aos estudos, o presente trabalho objetivou avaliar equipamentos portáteis de baixo custo que possam ser utilizados na aquisição de dados de forma robusta, oferecendo confiabilidade nas análises do Speckle dinâmico.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Visando à disponibilização e utilização da técnica de análise do *speckle* dinâmico a diversos ramos de estudos e pesquisas, o presente trabalho teve por objetivo o estudo de plataformas móveis de aquisição de dados. De que modo esses equipamentos de captura possam ser transportados de maneira simples aos mais diversos campos e áreas onde se demanda informação da atividade presente nos dinâmicos padrões de interferência, garantindo assim acessibilidade, flexibilidade e robustez aos estudos realizados.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliação de um *mouse* óptico utilizando laser como fonte de iluminação para captura de informações de movimentação pelo fenômeno de correlação entre imagens bem como dispositivo de coleta de imagens a pequenas distâncias e em situações onde não haja necessidade de alta resolução;
- b) Avaliação de uma *webcam* como dispositivo portátil de baixo custo para captura de imagens de secagem de pintura, avaliando-as, utilizando a técnica do *biospeckle*, visando a sua aplicação em pesquisas preliminares para determinar a viabilidade de uso de equipamentos mais precisos em estudos ou situações em que ainda não se é aplicada a técnica do *speckle* dinâmico;
- c) Avaliação de microscópio digital portátil de alta resolução como dispositivo de captura de imagens em alto nível de detalhes para

análise de fenômenos biológicos ou não através da técnica do *speckle* dinâmico;

- d) Validação de alternativas de captura de informações em substituição da câmera CCD por meio da secagem de uma pintura, visando a menores custos, fácil manuseio e maior qualidade nas informações coletadas.

### 3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1 Sensores CCD e CMOS

Atualmente sensores CCD (*charge-couplede* principalmente CMOS (*ComplementaryMetal-Oxide*) são tecnologias presentes em nosso cotidiano como parte integrante de diversos dispositivos para coleta de dados. Segundo Litwiller (2001), foram empregados muitos esforços nos últimos tempos na evolução da tecnologia CMOS, uma vez que seu processo de fabricação, além de mais barato, pode ser adaptado praticamente a qualquer linha de produção de componentes eletrônicos, superando a tecnologia CCD, que segundo Ré (2010), foi desenvolvida em 1970. As duas tecnologias possuem o mesmo processo de funcionamento, sendo que ambas trabalham com óxido de metal semicondutor em cada ponto (pixel) de sua malha de captura. Essa malha corresponde à resolução do sensor, por exemplo, um sensor de 2 megapixels possui aproximadamente dois milhões de pontos, sendo que cada um desses pontos é responsável pela formação de uma parte da imagem capturada.

O princípio de funcionamento desses sensores se baseia no efeito fotoelétrico, e o processo de formação da imagem acontece com a captura de luminosidade que atinge o sensor, e um sinal elétrico proporcional a essa medida é gerado. Posteriormente esse sinal é interpretado e conseqüentemente um processador cria tonalidades de cores de acordo com a intensidade desse sinal elétrico e aloca o pigmento criado em uma matriz em posição correspondente àquela onde foi capturada a luminosidade. Por fim, com a alocação de pigmentos em todos os pontos desta matriz a imagem é formada (RÉ, 2010).

Apesar do princípio de funcionamento ser o mesmo, existem diferenças básicas entre estes dois sensores. Segundo Litwiller (2001), o sensor CCD

armazena a quantidade mínima de energia em cada ponto de captura do sensor e depois envia essa carga mínima para leitura e processamento (Figura 1).

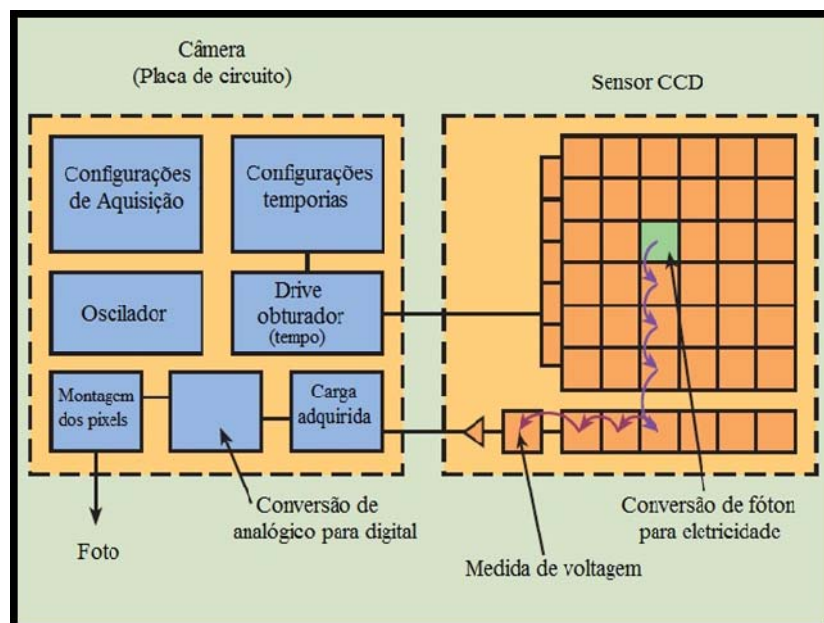


Figura 1 Princípio de funcionamento de sensor CCD.  
Fonte: Adaptado de Litwiller (2001)

No caso do CMOS, além da captura dos fótons de luz e sua conversão em eletricidade, a leitura do valor dessa carga também é realizada ainda no sensor, conforme mostrado na Figura 2.

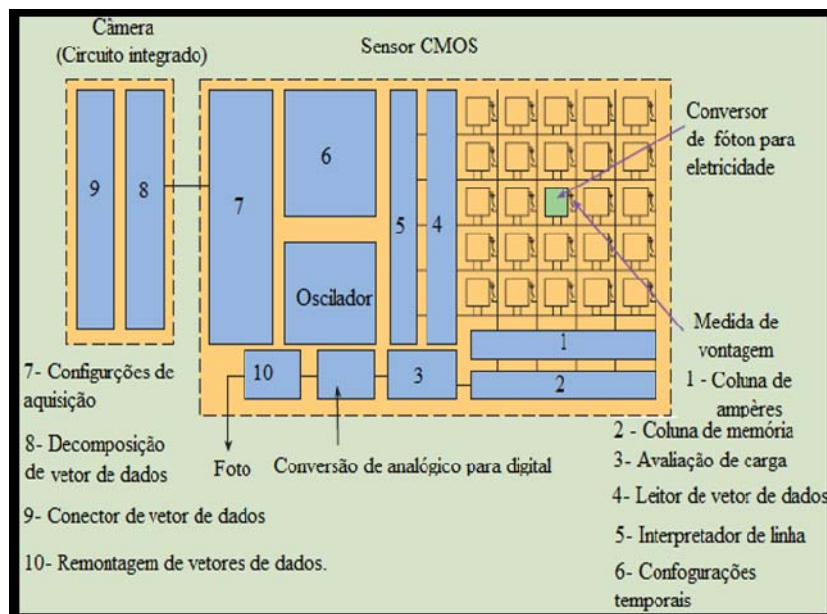


Figura 2 Princípio de funcionamento de sensor CMOS.

Fonte: Adaptado de Litwiller (2001)

Essa diferença pode ser considerada um diferencial, uma vez que com uso de sensor CMOS, os pontos possuem uma maior independência de leitura, ao contrário do CCD. O CMOS por sua vez possui uma desvantagem, pelo fato do fotodiodo ser posicionado junto a cada pixel, os fótons capturados podem colidir com esse dispositivo. Dessa forma os fótons são refletidos e a informação relativa a imagem nele contida é perdida.

Outra limitação encontrada nos sensores CMOS é o padrão de imagem formado, uma vez que as imagens são de 8 bits, tendo uma variação de 256 tonalidades de cor. Já o sensor CCD, gera imagens de 16 bits, as quais em sua formação chegam a ter 65536 tonalidades de cor; assim as imagens provenientes de sensores CCD oferecem uma maior possibilidade de extração de informações, tratamento e processamento, além de ter o uso de seu sensor com carga máxima, mantendo a integridade do circuito e dos dados gerados (CACELLA, 2010).

Além de ambientes laboratoriais, tais equipamentos também contribuem em áreas onde se extrai informações de imagens ou se faz o processamento destas. Celinski (2008), apresentou um trabalho em que se realizou um estudo sobre a classificação de coberturas de solos utilizando imagens de sensoriamento remoto. Tais imagens eram provenientes de câmeras CCDs instaladas nos satélites CBERS-2 e CBERS-2B. Tais satélites pertencem ao programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite* - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), que é fruto de uma parceria entre Brasil e China e tem como finalidade contribuir com o setor técnico-científico espacial, permitindo assim monitoramento e estudos de grandes áreas espaciais de áreas despovoadas e também o monitoramento dos potenciais agrícolas e ambientais dos dois países (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2007).

Com imagens adquiridas do satélite CBERS-2, pertencente ao acordo CBERS, Oliveira et al. (2007) compararam áreas de queimadas, utilizando dados de campo e de imagens obtidas com os mesmos satélites, e observaram que a resolução espacial nominal do sensor CCD resultou em uma contaminação por heterogeneidade dos padrões de cobertura do solo. Porém, pôde-se constatar a boa aproximação entre o valor de área queimada estimada com o uso da câmera CCD relacionados com os dados coletados a campo. E com o uso do mesmo satélite, Santiago e Pereira (2009) tiveram imagens desse equipamento como subsídio na distinção entre fitofisionomias florestais, savânicas e campestres do bioma cerrado, e concluíram que é necessário um processamento para que se atinja um resultado satisfatório para tal classificação. Também como dispositivo de aquisição de imagens a longa distância, sensores CCD são utilizados no ramo da astronomia. Cacella (2010) afirma que o uso de sensores CCD contribuiu significativamente para os estudos e pesquisas no ramo da astronomia, uma vez que essa tecnologia permite o registro de observações e medidas mais precisas como de posição (astrometria) e do brilho (fotometria) de

forma mais rápida além de outros benefícios como o processamento de imagens digitais.

Em um estudo sobre a tecnologia dos sensores, CMOS Wong et al. (1999) afirmaram que a tecnologia tinha uma grande chance de crescimento, uma vez que o material empregado em sua composição tem por base o silício, o mesmo da maioria dos componentes eletrônicos, assim praticamente qualquer linha de produção de componentes eletrônicos possuía estrutura básica para fabricação do sensor, comparando com algum outro tipo de tecnologia que poderia emergir. Além disso, foi avaliado no mesmo trabalho que o CMOS seria o melhor sensor para se trabalhar em nano-escala e segundo os autores dentro de 20 anos não haveria outra tecnologia para substituí-lo.

A Olympus, empresa de tecnologia mundialmente consolidada no mercado, oferece equipamentos e produtos que utilizam câmeras CCD de alta resolução que são acopladas a videoscópios com alto poder de processamento de dados, e possuindo placas dedicadas ao funcionamento no protocolo *fire-wire* (IEEE 1394). Tais equipamentos são utilizados em vistorias e monitoramento de pequenas áreas que são de difícil visualização a olho nu (OLYMPUS, 2010).

Sensores CMOS também têm contribuído significativamente com pesquisas e estudos nas mais diversas áreas, principalmente naquelas onde se tem a necessidade de aquisição de dados com alta velocidade (EL-DESOUKI et al., 2009). Além disso, dispositivos que utilizam o CMOS como aquisição de dados possuem a vantagem de comunicação direta por meio da porta USB sem a necessidade de placa ou protocolo especial para tal aquisição. Em suas aplicações mais comuns estão àquelas voltadas para o público, de maneira geral em máquinas digitais.

Para aplicações científicas utilizando câmeras comerciais, Holst (2009) afirma que os sensores CMOS são mais rápidos, eficientes e mais sensíveis que os sensores CCD. Segundo o mesmo autor, um sensor CMOS pode

atingir uma taxa de captura de até 500 quadros por segundo, ou seja, um intervalo de captura de 0,002 milissegundos, enquanto um sensor CCD consegue no máximo atingir a marca de 15 quadros, o equivale a um intervalo de captura de 0,066 milissegundos, além do fato de o CMOS usar tecnologia capaz de identificar os mais baixos níveis de luz.

A Figura 3, adaptada de Holst (2009) mostra uma comparação entre fotos tiradas com o uso de sensores CCD e de sensores CMOS.

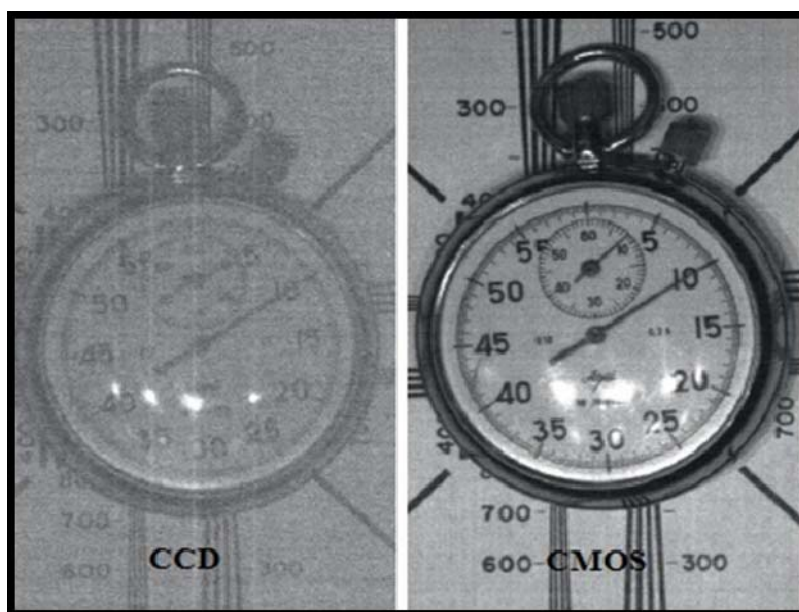


Figura 3 Comparação de imagens tiradas com sensores CCD e CMOS  
Fonte: Adaptado de Holst (2009)

Diante disso, Holst (2009) assegura que o sensor CMOS pode ser utilizado em clínicas médicas e veterinárias no acompanhamento de atividade cardíaca, indústria farmacêutica para auxílio em medidas de precisão, entre outros usos.

Além das aplicações científicas acima citadas, a tecnologia de sensores CMOS é aplicada também na indústria. Segundo Olympus (2010), a empresa também oferece produtos que utilizam sensores CMOS para aquisição de dados, como o microscópio laser de medição tridimensional, microscópios metalúrgicos, microscópios estereoscópicos, microscópios de medição. Além da linha de microscópios, a empresa também oferece uma linha de câmeras especiais com aplicação de observação de fenômenos de altíssima velocidade e que faz necessário reproduzir o vídeo em máxima qualidade (ser reproduzido de maneira detalhada à baixa velocidade). Essas câmeras têm uma capacidade de captura de 33.000 até 1.000.000 de quadros por segundo, e obturadores globais de 5 microssegundos até 200 nanossegundos.

### **3.2 Mouse óptico**

Segundo Ng e Ang (2005), o primeiro *mouse* óptico surgiu no mercado em 1999, lançado pela Agilent Technologies. A sua proposta era substituir os *mouses* mecânicos e junto com eles evitar o acúmulo de sujeira dentro do equipamento. Os *mouses* ópticos recebem esse nome porque sua principal característica é o uso de um mecanismo óptico no lugar de uma esfera para orientar a movimentação do cursor na tela do computador (INFOWESTER, 2010).

O sistema óptico dos *mouses* desse tipo é composto, basicamente, por um LED (*Light Emitting Diode*) emissor de luz vermelha e um sensor (geralmente, sensor CMOS).

Quando o *mouse* está em contato com uma superfície, a luz é emitida e refletida, ao *mouse*. Quando isso ocorre, o sensor age como se estivesse tirando uma fotografia daquele ponto e envia a imagem a um DSP (*Digital Signal Processor*), que a analisa. Esse processo é repetido constantemente e em alta velocidade. O DSP faz então uma espécie de comparação e análise dos padrões das imagens com um fenômeno de correlação, determinando assim o caminho percorrido pelo dispositivo (INFOWESTER, 2010).

Segundo Figueira (2007), o *mouse* óptico possui uma câmera que processa mais de 1500 imagens por segundo. Possui também um processador que digitaliza essas imagens a partir da comparação com um determinado padrão, transferindo para o processador DSP. As imagens captadas pelo sensor são digitalizadas e processadas.

Ainda segundo Figueira (2007), a qualidade de um *mouse* está relacionada com a resolução. São encontrados no mercado *mouses* de 400dpi, 800dpi e até 2000dpi. A medida define a quantidade de pixels utilizados em cada polegada ou centímetro quadrado. Um pixel é o menor elemento que compõe uma imagem digital.

Apesar de ser um dispositivo comum em nosso cotidiano, o *mouse* óptico tem sido usado em pesquisas. Tais pesquisas utilizam o princípio de funcionamento do dispositivo relacionado à movimentação espacial para outras aplicações. Por exemplo, os trabalhos propostos pelo pesquisador americano TuckWahNg e sua equipe (NG, 2003, 2004a; NG; CHEGON, 2004; NG; CHEONG; SHERIDAN, 2007).

Em trabalhos publicados entre 2003 e 2007, TuckWahNg mostrou que o *mouse* óptico pode ser usado como um sensor de deslocamento bidimensional, mesmo em situações onde se é exigido alto grau de precisão. Nos anos de 2003 e 2004, o autor realizou trabalhos nos quais foi conseguida uma alta linearidade dos dados com um acerto de 99,14% dos pontos e apresentando um baixo erro

quadrático médio. Na ocasião, o *mouse* ficou posicionado aproximadamente a 1,25 mm de distância de um objeto de polietileno (NG, 2003). No ano seguinte, o mesmo pesquisador publicou um trabalho (NG, 2004a) em que, foram avaliadas deformações viscoelásticas, utilizando um *mouse* óptico para acompanhar o fenômeno. O *mouse* foi posicionado ao lado de um filme de polímero e na extremidade desse objeto foi fixado um peso. Ao longo do tempo, o filme se esticava devido à ação do peso, e o processo também era acompanhado com o auxílio de uma régua. Nesse experimento foram utilizados materiais de três fabricantes diferentes, e além de testar o dispositivo para avaliação, o mesmo estudo avaliou a resistência dos três materiais. O arranjo experimental proposto é mostrado na Figura 4.

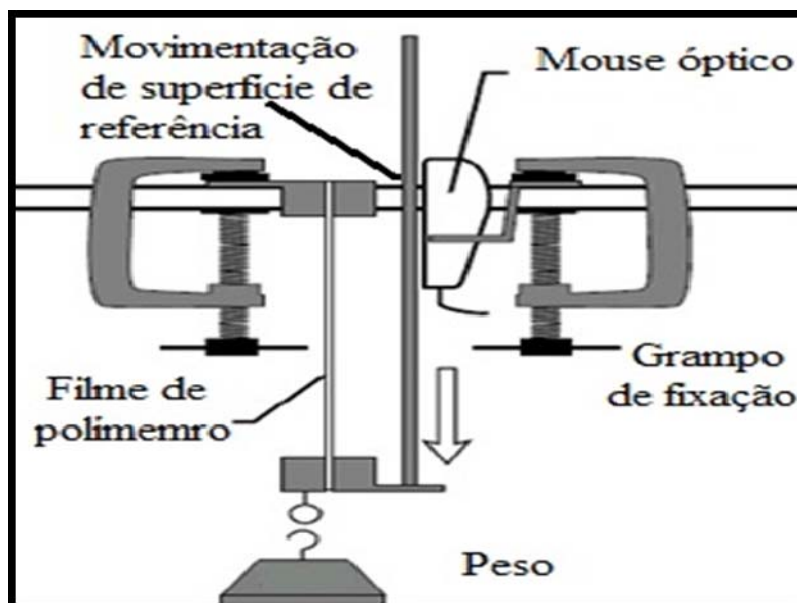


Figura 4 Arranjo experimental para avaliar a viscoelasticidade de um filme de polímero

Fonte: Adaptado de Ng (2004a)

Segundo o mesmo estudo, foram alcançados bons resultados, apesar de o arranjo experimental ser rudimentar, e também a possibilidade de avaliação de qualidade e elasticidade de filmes de diferentes polímeros oferecidos por fabricantes distintos.

Ng e Cheong (2004) propuseram outro estudo em que o *mouse* óptico era utilizado como um registrador de baixo custo em microscopia óptica de algum ponto de interesse. Conforme o artigo publicado, existem outras técnicas para que se possa realizar o mesmo trabalho, como marcações no material analisado e posteriormente avaliá-las com auxílio de um microscópio ou utilizar decodificadores de posição. Porém, segundo o autor, a primeira técnica é muito detalhada e tediosa, enquanto a segunda é muito onerosa. Com o uso do *mouse* óptico, pode-se chegar ao mesmo objetivo e resultado, porém de maneira mais simples e barata.

No mesmo ano, Ng (2004b) apresentou outra aplicação do *mouse*, em que o dispositivo óptico foi utilizado para avaliação de vibração. Para isso foi afixado um *mouse* óptico em uma peça de metal que foi colocada sobre uma base vibratória que respondia aos estímulos de um gerador de sinais e de um amplificador conforme mostrado na Figura 5.

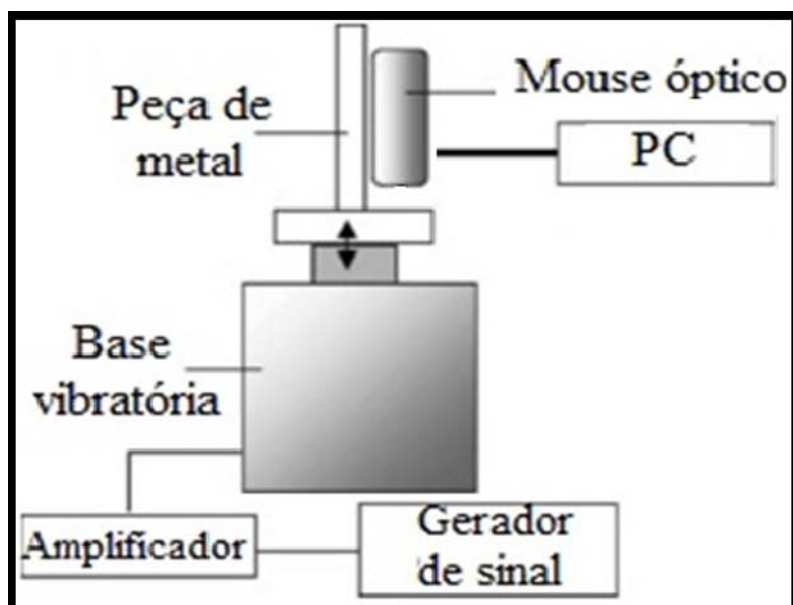


Figura 5 Arranjo experimental para avaliação de vibração de corpos  
Fonte: Adaptado de Ng (2004b)

Com esse experimento, Ng (2004b) pôde constatar que o *mouse* óptico pode ser usado também na avaliação de vibração de corpos. Porém sua eficiência, conforme apresentado em seu artigo, é menor do que conseguida em deslocamentos, nos quais o erro máximo foi de 15% com a frequência de vibração limitada a 35Hz e com uma amplitude de deslocamento máxima de 4mm.

Ng e Ang (2005) mostraram que o *mouse* óptico também pode ser utilizado como dispositivo para avaliação de oscilador harmônico, bem como pode ser aplicado como sensor de nível (NG; CHEONG; SHERIDAN, 2007), que pode ser observado na Figura 6.

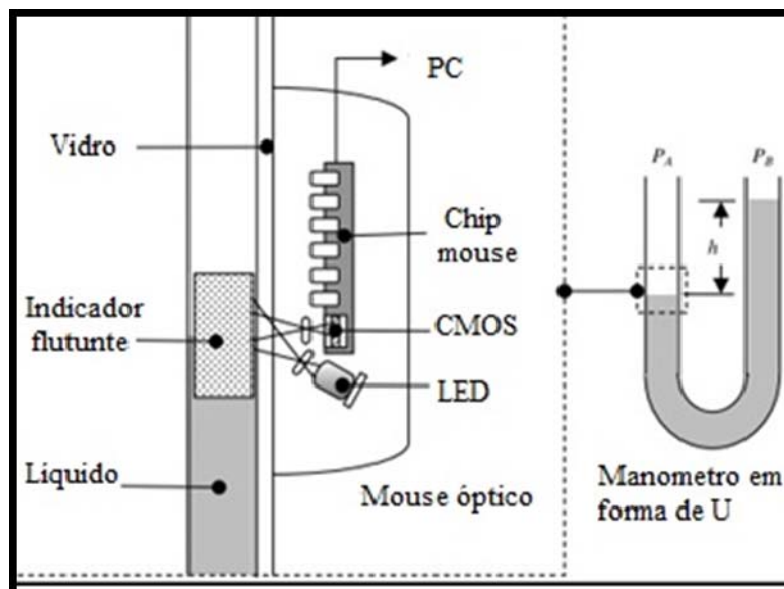


Figura 6 Arranjo experimental do *mouse* óptico fazendo leitura de um manômetro

Fonte: Adaptado de Ng, Cheong e Sheridan (2007)

E o segundo experimento realizado por Ng e Carne (2007) foi o do *mouse* óptico utilizado para avaliar a correlação de *speckle*. Em seus experimentos anteriores, TuckWahNg averiguou que a distância máxima que o *mouse* consegue funcionar com satisfação estava limitada a 1,25mm (NG, 2003). Porém, quando seu LED de iluminação é desabilitado e o seu sensor CMOS é iluminado com uma luz coerente, o *mouse* possui a mesma sensibilidade, e reproduz o movimento em tela. Uma lâmina de vidro fosco (ou difusor) posicionada na vertical ficou posicionada entre o *mouse* em mesma posição e uma fonte de *laser*. O difusor posicionado a 30 cm de distância do *mouse* gerava um espalhamento de luz, que era capturada pelo sensor do *mouse* em forma de um padrão bem definido, que conseguia monitorar o movimento. A Figura 7 ilustra o arranjo experimental utilizado para aumentar a capacidade de *omouse* observar movimentos a uma distância maior daquela para a qual foi projetado.

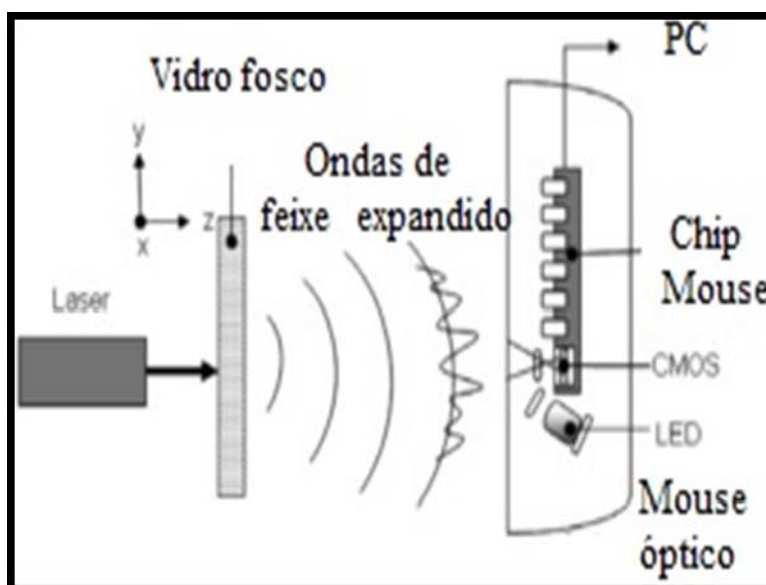


Figura 7 Arranjo experimental utilizado na correlação de movimentos do *mouse* e incidência de feixe de laser

Fonte: Adaptado de Ng e Carne (2007)

Visando dar ao *mouse* outras funcionalidades além das quais é utilizado atualmente, Liao et al. (2009) desenvolveram um protótipo de leitura de padrões de *specklelaser*, uma vez que o equipamento utiliza o *laser* como fonte de iluminação. Segundo Liao et al. (2009) esse protótipo desenvolvido poderá trazer maior comodidade, pois futuramente poderá servir como “navegante de dedo” utilizando a técnica de correlação do *mouse* óptico em pequenos dispositivos portáteis como celulares e PDAs (*personal digital assistants*). Além desses usos convencionais, o projeto teve por objetivo a coleta de dados de forma associada a *softwares* de computação gráfica e análise de imagens (Figura 8).

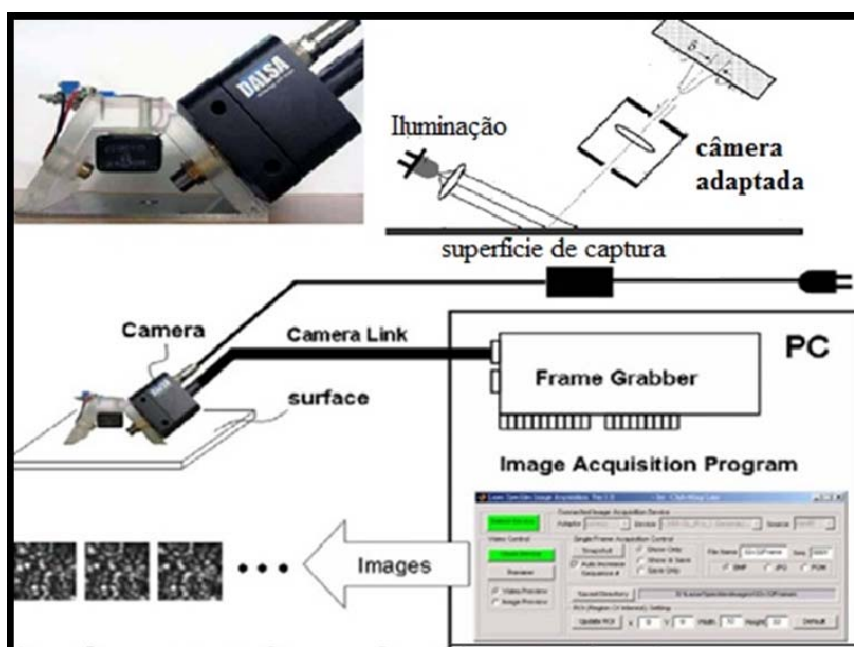


Figura 8 Protótipo de *mouse* para aquisição de imagens  
 Fonte: Adaptado de Liao et al. (2009)

### 3.3 Webcam

A *Webcam* é uma câmera de vídeo de baixo custo que capta imagens e as transfere para um computador. Mas em sua origem em 1991, a Webcam foi desenvolvida para monitorar uma garrafa de café na Universidade de Cambridge. A câmera mostrava quando a garrafa estava vazia e assim evitava que funcionários se deslocassem para buscar café quando a garrafa estava vazia (WIKIPÉDIA, 2010).

Atualmente as *webcams* se tornaram uma ferramenta de comunicação de grande utilidade, uma vez que proporcionam a projeção de conversas em tempo real e com boa qualidade de imagem. Atualmente alguns *softwares* projetados para *webcam* também oferecem serviços de segurança, podendo ser

instalados em ambientes comerciais tanto para vigilância *on-line* bem como análises futuras de imagens (COPYRIGHT PY SOFTWARE, 2010; MIDTEC, 2010).

Para o uso acadêmico, Viana e Bercht (2009) afirmam que a *webcam* pode ser grande aliado do professor na educação à distância, auxílio em processos pedagógicos e também uma ferramenta de auxílio ao aluno. Esta pode auxiliar também em estudos de comportamento humano, uma vez que pode captar semblantes e expressões faciais, que podem ser utilizadas em estudos psicológicos.

Figueiró et al.(2005) apresentaram um sistema composto por software para aquisição de dados com comunicação direta com uma *webcam* com a finalidade de capturar dados para análise de microscopia óptica. Na ocasião, o projeto teve um custo de 30% do valor de um projeto convencional de aquisição de dados, além de apresentar uma taxa de ruído 35% menor.

Prado (2006) defende o desenvolvimento de câmeras digitais de baixo custo que utilizam sensores CMOS para monitoramento de projetos embarcados, uma vez que esses dispositivos possuem qualidade satisfatória de funcionamento e baixo custo de aquisição. Para isso Prado, (2006) utilizou sensores CMOS acoplados diretamente no barramento do circuito como se fossem um periférico, e utilizada uma interface digital simples, promovendo comunicação em 8 bits.

Em aplicações de pesquisa, Alves et al. (2009) criaram um espectrofotômetro, utilizando uma *webcam*, uma fonte de luz, uma lente convergente e um prisma equilátero. O intuito do desenvolvimento desse espectrofotômetro e a sua utilização se deve à comparação de radiação absorvida ou transmitida por uma solução que contém uma quantidade desconhecida de soluto. A montagem do arranjo experimental é ilustrada na Figura 9.

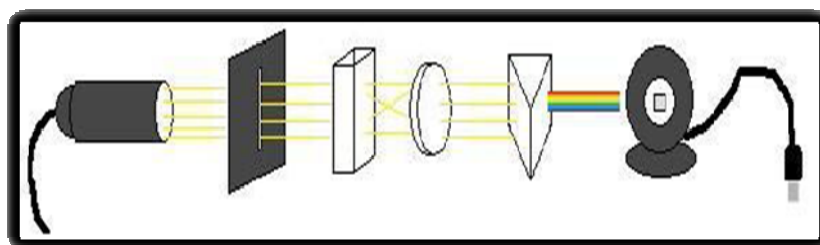


Figura 9 Modelo de espectrofotômetro utilizando webcam  
Fonte: Adaptado de Alves et al. (2009)

### 3.4 Minimicroscópio portátil

O Minimicroscópio portátil é um dispositivo eletrônico de aquisição de dados. Em seu funcionamento, esse dispositivo utiliza o CMOS para captura de imagens e sua comunicação com o micro se dá por meio de porta USB sem a necessidade de uma placa dedicada ao seu funcionamento (ANMOELECTRONICS, 2010).

Esse dispositivo foi desenvolvido pela AnMoElectronics (2010) com o objetivo de atender às necessidades de ambulatórios, consultórios, e em outros ambientes onde se tenha a necessidade de alta ampliação de imagens. O minimicroscópio portátil também é de fácil uso e transporte, uma vez que suas dimensões não ultrapassam 6 cm de circunferência e 12 cm de comprimento. (ANMOELECTRONICS, 2010).

Entre suas funcionalidades, tal dispositivo permite a captura de fotos e vídeos, sendo nesse último a possibilidade de ajuste de tempo de captura e a quantidade de quadros capturados por segundo, além de acesso à programação para gravar vídeos em especial no ajuste da taxa de amostragem. Além das opções ligadas diretamente à aquisição de dados, o microscópio digital portátil permite que sejam realizadas medidas relacionando o tamanho da imagem com a ampliação desta, dessa forma, se tem o tamanho da área. Além de medidas de

área também é possível medir ângulos de imagens e também o comprimento de linhas, essa última acontece quando se determina dois pontos distintos (ANMOELECTRONICS, 2010).

Além disso, o mesmo equipamento pode ser utilizado em análise de pele e couro cabeludo, inspeções industriais e assistência visual, inspeção de impressão, tecido e joias, etc (ANMOELECTRONICS, 2010).

### 3.5 O biospeckle laser, métodos de análise e aplicações

O uso do *biospeckle* por muito tempo foi restrito, em muitas aplicações, ao ambiente protegido de um laboratório de física. Todavia a evolução da eletrônica digital, a evolução dos lasers de estado sólido, em especial em relação à sua estabilidade, bem como o desenvolvimento das mais variadas formas de análise do fenômeno, permitiram seu uso de forma robusta, flexível e acessível.

De acordo com Rabal et al.(1998), o *speckle* poder ser notado quando se ilumina com *laser* algum tipo de material biológico, como vegetais, ou até mesmo fenômenos não biológicos, como secagem de pinturas, por exemplo.

Uma das formas de se analisar o fenômeno do *speckle* é através do cálculo de Momento de Inércia (MI). O MI é obtido pela transformação das imagens do biospeckle em uma matriz de ocorrência (MOC) espaço por tempo, constituída pelo conjunto de imagens coletadas em instantes diferentes, chamadas STS (“Spatial Temporal Speckle”), prosposta por Oulamara et al. (1989) e Xu, Joenathan e Khorana (1995).

Com o interesse é quantificar a mudança do padrão de *speckle*, a MOC é utilizada para obter o momento de segunda ordem, denominado de Momento de Inércia (MI). A quantificação consiste no somatório dos produtos dos valores de intensidade da matriz pelo quadrado da distância entre cada elemento da matriz e a diagonal principal (ARIZAGA; TRIVI; RABAL,1999).

O MI é um método estatístico de segunda ordem, que classifica a atividade do material, por meio de um número adimensional. Dessa forma é necessário correlacionar os valores de MI em um material que varia sua atividade.

Nesse momento é preciso separar as aplicações que usam intensivamente o tempo como referência, daquelas aplicações que buscam reduzir drasticamente o tempo de observação da amostra. Nesse último caso, o objetivo é evitar os ruídos e promover uma observação quaseonline, como pôde ser observado pelos trabalhos desenvolvidos inicialmente por Briers (BRIERS, 1975, 1993, 2006), e em consequência por outros cientistas, em particular para aplicações médicas.

O primeiro registro acadêmico de uso de um equipamento compacto para aplicações considerando a história temporal nas análises pode ser relatada a Pomarico et al.(2004), cujo arranjo experimental é mostrado na Figura 10.



Figura 10 Arranjo experimental utilizado por Pomarico  
Fonte: Pomarico et al.(2004)

Um equipamento compacto foi também proposto por Carvalho et al. (2009) para análise de sêmen animal (Figura 11), sendo que todavia nesses casos anteriores, ainda usando uma câmera CCD de grandes dimensões, se comparadas com um *mouse*, uma webcam ou mesmo um minimicroscópio, e ainda o uso de um *desktop* como meio de coleta das imagens.



Figura 11 Arranjo experimental utilizado na avaliação de sêmen  
Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2009)

Um equipamento para uso do *biospeckle* em secagem de tinta de forma comercial e com soluções tecnológicas mais compactas foi apresentado por Burnel et al. (2007)(Figura, 12), e um apontamento para uma didática forma de usar o *biospeckle* foi apresentado por Marcon e Braga Júnior (2008).



Figura 12 Equipamento para uso do biospeckle em secagem de tinta de forma comercial

Fonte: Adaptado de Burnel et al. (2007)

Nieri et al.(2009)também utilizaram um arranjo experimental para análise da parede abdominal após implantes de próteses de polipropileno em ratos pela técnica do *Biospeckle* (Figura 13).



Figura 13 Arranjo experimental proposto por Nieri

Fonte: Nieri et al.(2009)

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O teste e a validação das abordagens que poderiam permitir mais portabilidade, robustez e acessibilidade foram realizados tendo como base um experimento de aplicação do *speckle* laser dinâmicos consolidado na literatura, que é o acompanhamento da secagem de uma pintura (AMALVY et al., 2001).

As avaliações foram divididas por tecnologia, em um minimicroscópio, uma Webcam e um *mouse* óptico foram utilizados como base para se avaliar o CMOS presente em todos eles, além de avaliar a funcionalidade de cada um para a captura de imagens provenientes do *speckle* laser dinâmico.

Todos os experimentos foram realizados nas dependências do CEDIA (Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária), localizado no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

### 4.1 Experimento de validação do microscópio digital portátil

O microscópio digital portátil adotado como ferramenta de aquisição de dados para este projeto foi submetido ao experimento de secagem de tinta. Além de testar a viabilidade de captura, o experimento também teve como objetivo testar a desempenho do aparelho em distâncias variadas, para oferecer ao usuário um claro protocolo de posicionamento, e também a coleta de dados com e sem o ajuste de foco.

O experimento foi realizado no Laboratório de Óptica 1 do CEDIA. Para isso um arranjo experimental foi montado dentro de uma câmara de PVC localizada sobre uma bancada de alvenaria com isolamento mecânica de ruídos em sua base. Foram realizadas duas baterias de captura, em que cada uma delas foram realizadas vinte e quatro filmagens em três alturas distintas, sendo oito filmagens por altura.

A definição de cada uma das alturas foi feita a partir do ponto mais próximo que o microscópio digital portátil ficou posicionado em relação à moeda com seu foco ajustado. A altura mínima foi ajustada para se ter as bordas da moeda coincidindo com os limites da imagem capturada em foco, sendo essa distância de oito centímetros.

Com base na distância mínima determinada, outras duas foram definidas: uma intermediária de dezesseis centímetros (o dobro da primeira distância) e uma máxima de vinte e quatro centímetros (o triplo da primeira distância), o arranjo experimental é mostrado na Figura 14.

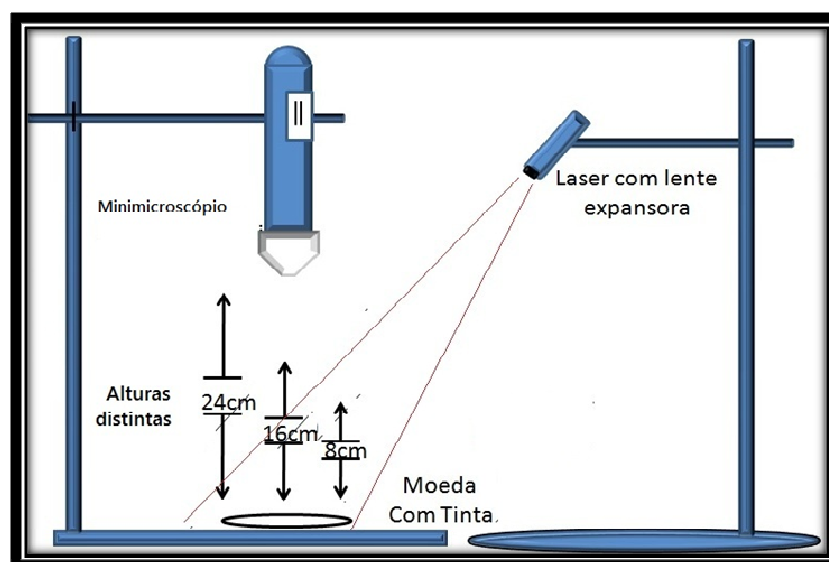


Figura 14 Arranjo experimental utilizado na avaliação do mini-microscópio

Como forma de iluminação foi utilizado um laser HeNe de 5mW de potência e 532 nm de comprimento de onda. Uma lente expansora foi adaptada à extremidade com o objetivo de expandir o feixe do laser e iluminar toda a moeda.

Com o auxílio de um pincel, pintou-se a moeda com uma fina camada de esmalte sintético.

A captura de filmes foi realizada com o *software* DinoCapture, com uma taxa de 12 quadros por segundos e um tempo de duração de 15 segundos. No total, eram capturados em torno de 180 imagens.

Para realização das análises, eram necessárias 128 fotos, porém no início de cada filmagem o minimicroscópio disparava um feixe de luz de curta duração, que agregava ruído nos primeiros quadros capturados. Além disso, em parte dos filmes capturados, foi notada uma perda de quadros (menor que 3%). Dessa forma, era necessária a coleta de um número maior que o necessário para as análises, para que a quantidade de imagens não gerasse algum tipo de transtorno durante a realização do experimento.

Durante o experimento, foram realizadas duas baterias de captura, cada uma delas composta por oito seções de filmagem, e três filmes capturados em cada seção. A primeira seção de filmagem foi realizada imediatamente após a aplicação da tinta, e outras sete se repetiram com intervalo de 20 minutos. Em cada seção, três filmes eram coletados, o primeiro filme referente à distância máxima, o segundo filme referente à distância média e um terceiro filme referente aos dados de distância mínima. Ou seja, em cada seção de filmagem a distância era alterada e o foco de captura era ajustado. O ajuste de foco em cada uma das alturas de captura teve como objetivo a avaliação da influência da distância de captura com os resultados encontrados

Para que houvesse uma mínima influência do ambiente, as janelas foram fechadas e cobertas com a finalidade de vedação luminosa. Também foram fechadas a porta do laboratório e a abertura da câmara de PVC para evitar o fluxo de ar. E por último, para não acarretar ruídos nos dados capturados, a iluminação do laboratório era desligada.

Após duas horas e vinte minutos, eram obtidos vinte e quatro filmes, sendo oito de cada uma das distâncias.

Com a finalidade de observar o desempenho de captura de dados em situações que não são permitidas o ajuste do foco do equipamento na distância adequada, foi realizado, uma segunda bateria de captura de filmes. Nessa bateria, o foco foi ajustado apenas na altura máxima e posteriormente o mesmo ajuste era utilizado nas demais capturas. Dessa forma, foi possível observar o comportamento das curvas dos dados de MI e poder correlacioná-las entre si. Além dessa mudança no protocolo de captura, nenhuma outra alteração foi feita, e todos os outros procedimentos experimentais foram repetidos.

Os filmes foram separados em imagens separadas para a realização das análises de MI.

Para validação de todo o experimento, uma nova camada de tinta foi aplicada sobre a moeda, que foi posicionada sobre uma balança analítica. Foram coletados os dados de pesagem (dados gravimétricos) com intervalos de 20 minutos, que foram plotados em um gráfico com a finalidade de observar o comportamento temporal da secagem. O gráfico resultante dos dados de pesagem foi utilizado para comparar com os gráficos de desempenho de MI.

Com a finalidade de aferimento entre as baterias de coleta de dados de ajuste de foco e sem ajuste de foco, foi realizada uma análise de variância, utilizando o teste de Tukey e o software SisVar.

#### 4.2 Teste de captura de dados para análise do *Speckle Laser* utilizando uma *Webcam*

O mesmo experimento de secagem de tinta foi realizado, com a aplicação do esmalte sintético sobre a moeda e o acompanhamento de sua secagem.

O protocolo, para a aquisição de dados utilizando a *Webcam* foi definido de acordo com as limitações desse equipamento, uma vez que sua capacidade de aproximação e ajuste de foco são bastante limitados. Com isso, a coleta de dados foi realizada apenas em uma distância, uma vez que não se conseguiu ajustar o foco em outras distâncias distintas.

O arranjo experimental foi montado dentro de uma câmara de PVC sobre uma bancada de alvenaria localizada no Laboratório de Óptica-1 do CEDIA, conforme apresentado na Figura 15.

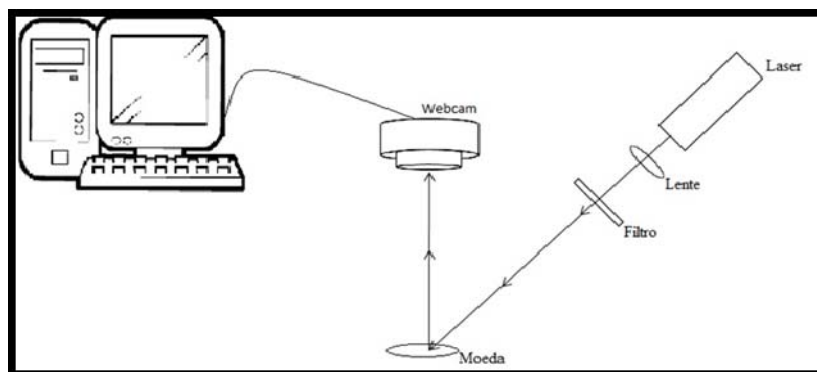


Figura 15 Arranjo experimental para captura de imagens utilizando a webcam

Para a iluminação da moeda, foi utilizado um laser HeNe de 3 mW e de 635 nm com feixe expandido, e para que fosse evitada uma saturação luminosa pelo próprio laser, foram utilizadas 3 camadas de película plástica escurecida.

A aplicação de tinta se deu com o uso de um pincel, aplicando uma fina camada sobre toda a superfície da moeda. O início da captura das imagens se deu após a aplicação de tinta com a Webcam posicionada a 5 cm de distância, com filmes de duração de 30 segundos e com taxa de captura de 15 quadros por segundo, com oito repetições e um intervalo de 20 minutos entre captura. O software utilizado para captura foi o AMCap® e a decomposição dos filmes utilizando o *Image J*®, e usando esse mesmo programa foram realizadas as análises de MI, THSP, e gerados dados estatísticos dos grãos. Os dados foram tabulados e comparados com dos outros equipamentos.

#### **4.3 Mouse Óptico como sensor de *Biospeckle***

O *mouse* foi usado em experimentos em que foi aproveitado seu funcionamento tradicional como um dispositivo de deslocamento espacial, bem como sofreu uma alteração em sua estrutura, para que estivesse coletar dados em forma de imagens para análise convencional do *speckle laser*.

Dentre os experimentos onde se usou as funcionalidades convencionais do *mouse* óptico estão o monitoramento de frequência cardíaca, acompanhamento de deslocamento de madeira e sua ruptura e monitoramento de movimento de um olho artificial.

Em todos os experimentos onde se desejou avaliar o deslocamento desses objetos foi utilizado um *mouse* óptico com um sensor CMOS de 800 DPI, com conexão de USB. Para que o padrão de *speckle* fosse formado, esse *mouse* teve seu LED desativado e a iluminação foi realizada com um laser em estado sólido de 635 nm de comprimento de onda e 5mW de potência. Com o auxílio de um programa de computador desenvolvido especificamente para auxiliar nesses experimentos, foi registrado o caminho percorrido pelo *mouse*

transcrevendo esse caminho em coordenadas de um plano cartesiano. Tal programa coletou os dados a uma taxa de 100 coordenadas por segundo, em que após a coleta as coordenadas eram plotadas gerando um gráfico que representava o movimento do *mouse* na tela e conseqüentemente o movimento do objeto analisado.

Também foi realizado um experimento no qual se desejou avaliar o comportamento de secagem de tinta aplicada sobre uma moeda. Para isso o *mouse* óptico foi adaptado, oferecendo recurso de aquisição de imagens para análise do *speckle laser*.

#### **4.3.1 Deslocamento de madeira**

Com o objetivo de analisar o comportamento e a ruptura de um corpo que está submetido a uma deformação, uma peça de madeira foi posicionada em sentido horizontal, apoiando-a apenas em suas extremidades e com o auxílio de um equipamento mecânico a mesma peça de madeira sofreu uma pressão em sua parte central.

O *mouse* óptico foi posicionado em posição vertical ao lado da peça de madeira de modo a capturar o reflexo ocasionado pela incidência do feixe de laser naquele objeto, conforme mostra a Figura 16.

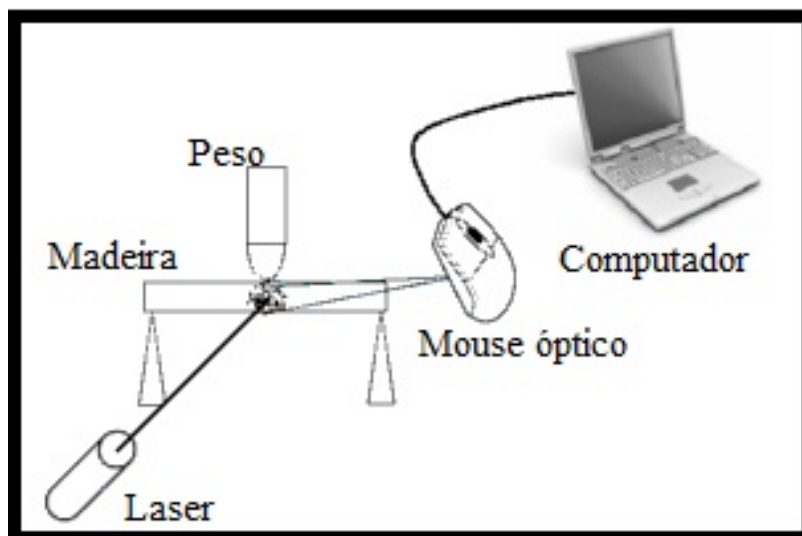


Figura 16 *Mouse* sendo usado para monitorar flexão de madeira

Com a projeção do feixe de laser sobre a madeira, um padrão de *speckle* era formado e conforme a peça sofria pressão e se movimentava, o padrão de *speckle* também sofria alterações, que eram capturadas pelo sensor do *mouse* que transformava em movimento do cursor na tela do computador.

#### 4.3.2 Monitoramento do diâmetro da artéria radial

Com o intuito de observar a movimentação arterial, em especial a variação do diâmetro da artéria radial de um ser humano, foi iluminado o pulso de uma pessoa com o braço apoiado sobre uma superfície esponjosa com um feixe de laser pontual. Foi afixado um pedaço de papel de aproximadamente  $0,5 \text{ cm}^2$  sobre a artéria radial.

O *mouse* óptico bem como o laser ficaram posicionados a cerca de 70mm de distância do braço. O feixe de laser era incidido sobre o papel pregado

sobre a artéria onde era gerado o padrão de *speckle*, que era refletido ao sensor CMOS do *mouse* óptico. A Figura 17 ilustra tal procedimento.

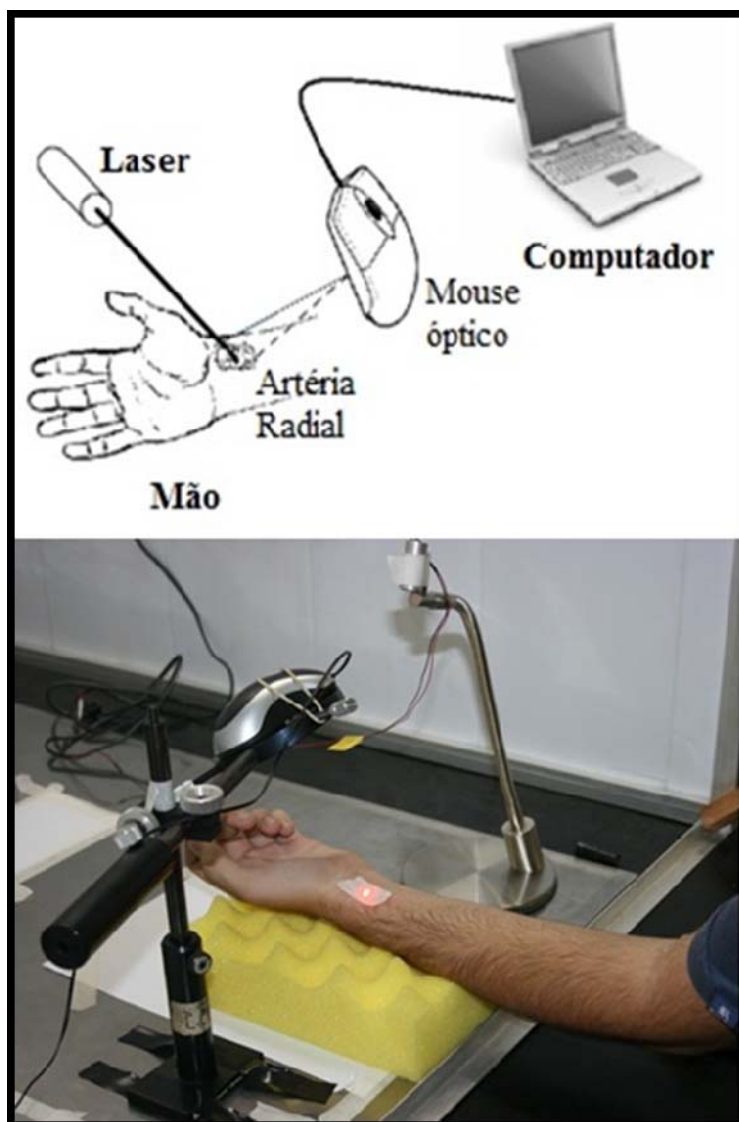


Figura 17 Uso do *mouse* na monitoração de frequência cardíaca

Conforme ocorriam os batimentos cardíacos da pessoa, a artéria radial se dilatava e se comprimia, mudando assim o padrão de interferência causado pela incidência do laser. Sendo então capturado pelo *mouse*, ocasionando a movimentação do ponteiro na tela do computador.

### **4.3.3 Monitoração de movimento de olho artificial**

Simulando o olho humano, foi utilizada uma esfera de vidro posicionada levemente fora do eixo sobre um goniômetro e um *mouse* laser posicionado na vertical em sua frente. Nesse caso, o feixe de laser foi expandido e projetado em um difusor antes de incidir sobre a esfera. A forma de captura de dados foi semelhante às demais citadas anteriormente. Ou seja, a esfera girava na horizontal em dois sentidos com o auxílio do goniômetro onde era possível fazer movimentos de vai e vem na horizontal. O *mouse* laser ficou posicionado em sentido vertical em torno de 75mm de distância da esfera, e conforme esta girava, os movimentos eram realizados pelo cursor do *mouse* na tela do computador. O arranjo experimental é mostrado na Figura 18.

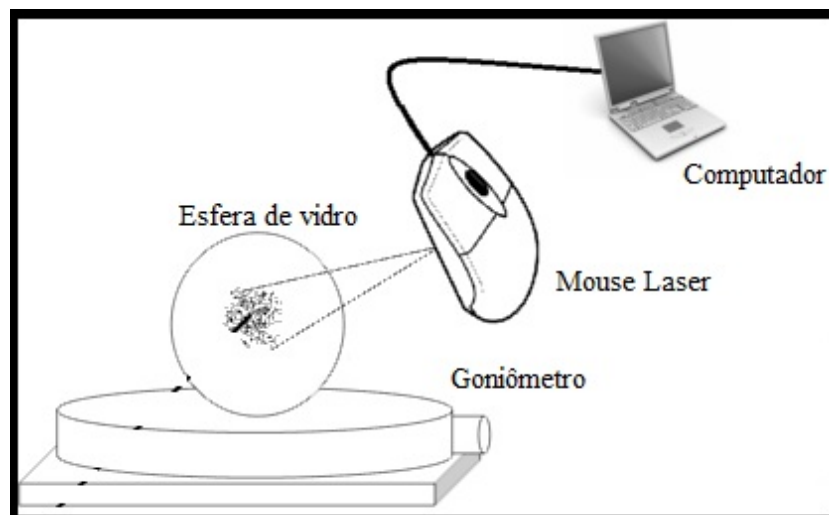


Figura 18 Monitoração de movimento do olho artificial

Ao final da coleta de dados, estes foram processados e os gráficos gerados.

#### 4.3.4 Monitoração de secagem de tinta com *mouse* adaptado

Nesse último experimento utilizando o *mouse* óptico, este sofreu uma mudança em sua estrutura para que pudesse ser utilizado como uma ferramenta de aquisição de dados. Para isso, a estrutura interna do *mouse* foi removida, e em seu interior uma *webcam*, que utiliza sensor CMOS, foi adaptada dentro da estrutura plástica do *mouse*. Durante a captura dos dados, foi necessária a iluminação do material a ser analisado por um feixe de *laser*. Para isso foi adaptado também dentro da estrutura do *mouse* um *laser* de 8mW e 635 m de comprimento de onda. A Figura 19 ilustra o *mouse* adaptado e a Figura 20 mostra a configuração do arranjo experimental.

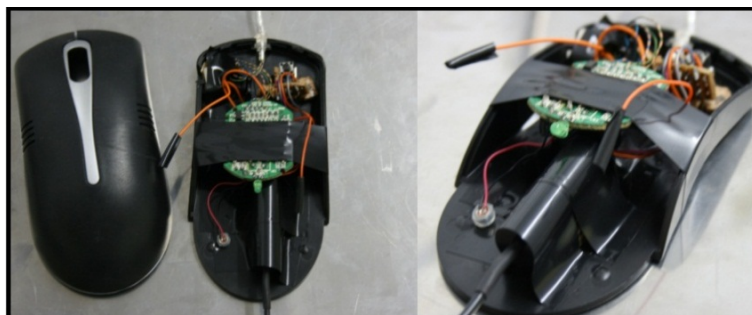


Figura 19 *Mouse* adaptado para captura de imagens

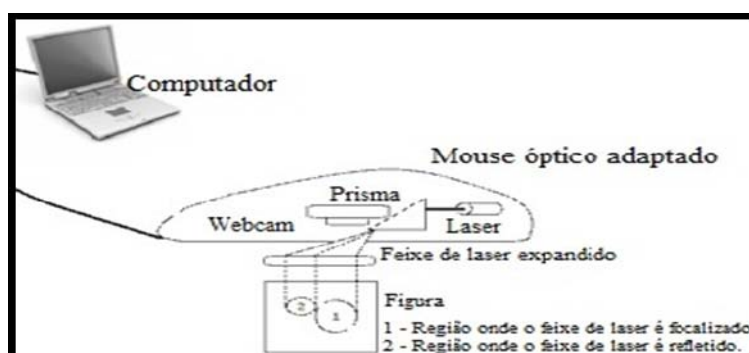


Figura 20 Arranjo experimental do *mouse* adaptado para captura de imagens

O objetivo dessa mudança é avaliar o *mouse* como uma ferramenta de coleta de dados, uma vez que este utiliza o mesmo sensor da *webcam*. Nesse caso, o *mouse* como ferramenta de captura de imagens seria utilizado em ambientes que não é preciso vedar a iluminação, uma vez que o *mouse* fica posicionado junto à superfície de análise, criando um local favorável a captura de dados para análise do *speckle laser*.

Dessa forma para aquisição de imagens, o *mouse* adaptado foi posicionado sobre uma moeda com aplicação de tinta, sendo que era realizada a captura de nove filmes com intervalo de 15 minutos. Cada filme com duração de

15 segundos com uma taxa de captura de 10 quadros por segundo. Após a coleta e a decomposição dos filmes, foi realizada a análise de MI.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Experimento de validação do microscópio digital portátil

O Gráfico 1 apresenta o monitoramento gravimétrico da moeda perdendo seus componentes voláteis e reduzindo de forma exponencial seu peso, o que é algo bem consolidado na literatura relativa à secagem de pinturas.

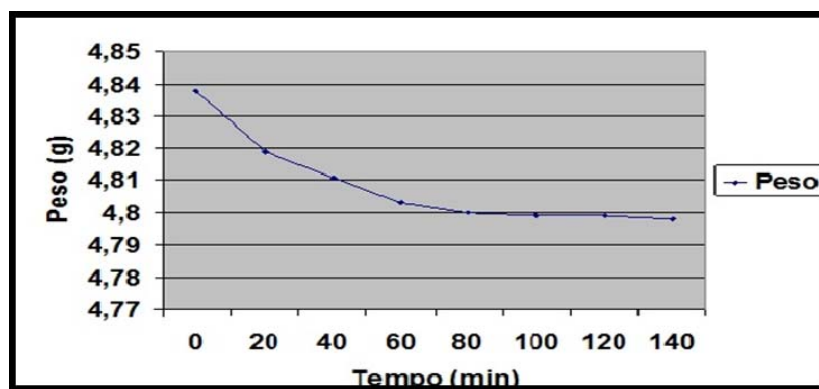


Gráfico 1 Dados gravimétricos de secagem de tinta

O Gráfico 2, por sua vez, tem as informações dos valores de Momento de Inércia das imagens do speckle laser dinâmico da moeda em três alturas, nesse caso sem o ajuste de foco.

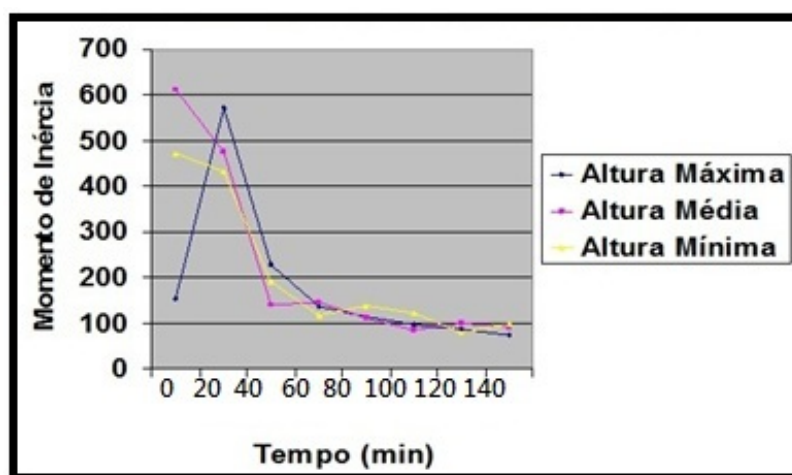


Gráfico 2 Dados de MI sem ajuste de foco

Ao analisar o gráfico MI da secagem (sem ajuste de foco), é possível notar que as três curvas possuem um comportamento exponencial e posteriormente tendem à queda e à estabilização. Nota-se que a parte abrupta da queda está relacionada com os dados compreendidos entre a primeira e a quarta filmagem, e posteriormente as três linhas tendem a se estabilizar e se agrupar.

Quando analisamos esse gráfico, relacionando-o com histórico de pesagem da moeda, notamos que o comportamento dos fenômenos são coerentes, ou seja, representam a mesma dinâmica para o fenômeno.

Apesar da coerência entre esses dados, é notado que o primeiro ponto para a altura máxima possui um valor discrepante do restante dos dados. Nesse caso, é possível ter ocorrido uma influência externa não conhecida, influenciando diretamente na execução do experimento. Mostrando que apesar dos cuidados tomados e o protocolo experimental sofreu algum tipo de perturbação refletindo diretamente nos resultados obtidos. Após a coleta e processamento dos dados dos filmes capturados sem ajuste de foco, também

foram processados os dados de todos os filmes capturados com ajuste de foco (Gráfico 3).

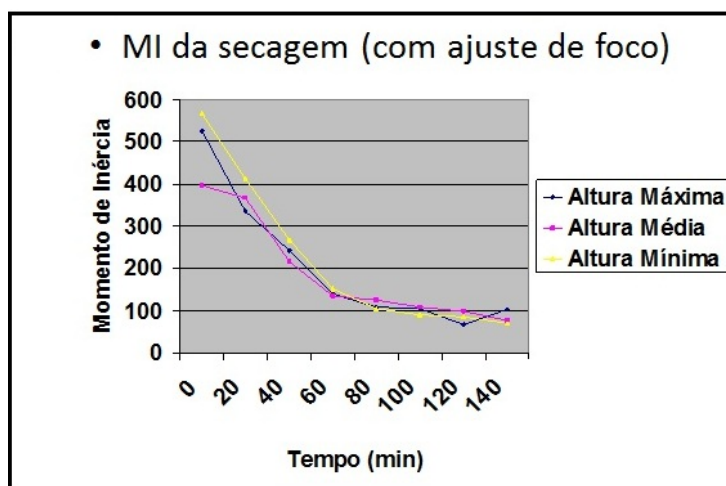


Gráfico 3 Dados gravimétricos juntamente com dados de MI com ajuste de foco

Ao analisar o gráfico acima, percebe-se que seu comportamento também é semelhante ao comportamento dos dados de secagem de tinta e em caráter especial aos dados gravimétricos do experimento.

Ao comparar os gráficos de momento de inércia com ajuste de foco e sem ajuste de foco nota-se que os dois apesar de terem comportamentos semelhantes se diferem na proximidade das curvas de altura máxima, média e mínima, nas quais o ajuste de foco contribuiu para um maior agrupamento dos valores de secagem no tempo medidos pelo MI. A análise de variância para os dois tratamentos evidenciou a avaliação qualitativa retirada dos gráficos, e pode ser observada nas Figuras 21 e 22.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA (para dados sem ajuste de foco)					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamentos	2	8242.312147	4121.156073	0.429	0.6583
tempos	8	620041.588137	77505.198517	8.066	0.0002
erro	16	153751.116986	9609.444812		
Total corrigido	26	782035.017271			
CV (%) =	51.56				
Média geral:	190.1310915	Número de observações:	27		

Figura 21 Análise de variância para os dados sem ajuste de foco

Diante dos dados do quadro da análise estatística pelo teste de Tukey, é possível notar que a classificação dos dados é heterogênea para os quatro primeiros valores, que representam a primeira hora de secagem, sendo que o coeficiente de variação mostra que a variabilidade dos dados realmente é classificada como alta, com um valor de 52%.

Quando é observado o quadro de análise de variância para os dados adquiridos com a captura dos filmes com o foco ajustado em cada altura, o coeficiente de variação é bem menor, ficando em torno de 18% conforme apresentado na Figura 22.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA (para dados com ajuste de foco)					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamentos	2	3135.863837	1567.931918	1.250	0.3129
tempos	8	538677.324964	67334.665620	53.702	0.0000
erro	16	20061.896625	1253.868539		
Total corrigido	26	561875.085426			
CV (%) =	10.37				
Média geral:	190.7133444	Número de observações:	27		

Figura 21 Análise de variância para os dados com ajuste de foco

Diante a classificação desses resultados de análise estatística, é possível comprovar claramente as afirmações feitas a respeito da interpretação gráfica dos dados. As figuras 23 e 24 mostram a classificação dos dados após serem analisados pelo teste de Tukey.

Teste Tukey para a FV tempos		
Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	61,780367	a1
140	87,739967	a1
120	88,481300	a1
100	101,137733	a1
80	120,761800	a1
60	133,579567	a1
40	186,024633	a1 a2
0	439,234633	a2 a3
20	492,439823	a3

Figura 23 Teste de Tukey para os resultados dos dados sem ajuste de foco

Teste Tukey para a FV tempos		
Tratamentos	Médias	Resultados do teste
120	82.864433	a1
140	82.885100	a1
t	86.264900	a1
100	100.831000	a1
80	112.551567	a1
60	141.636733	a1 a2
40	241.345200	a2
20	371.427867	a2 a3
0	496.610000	a3 a4

Figura 24 Teste de Tukey para os resultados dos dados com ajuste de foco

Dessa forma, é possível dizer que o uso microscópio digital portátil não se restringe apenas a curtas ou longas distâncias, mas sim que este pode se adequar a qualquer distância compreendida entre zero e pelo menos o valor máximo utilizado nesse experimento. Além disso, o uso do microscópio digital portátil pode ser realizado em situações nas quais não se tem condições de um

ajuste perfeito de foco, desde que se tenha outro ajuste como parâmetro, como é o caso do ajuste da altura máxima e a sua utilização em uma altura inferior, lembrando que essa afirmação se faz válida para análise de *speckle laser*.

## 5.2 Teste de captura de dados para análise do *Speckle Laser* utilizando uma *Webcam*

O teste realizado com a *webcam* teve apenas uma altura de captura, visto que esta não oferece recursos suficientes para calibração e ajuste de imagem. Assim com os filmes capturados, decompostos e os resultados processados, obteve-se o comportamento de MI conforme mostrado no Gráfico 4.

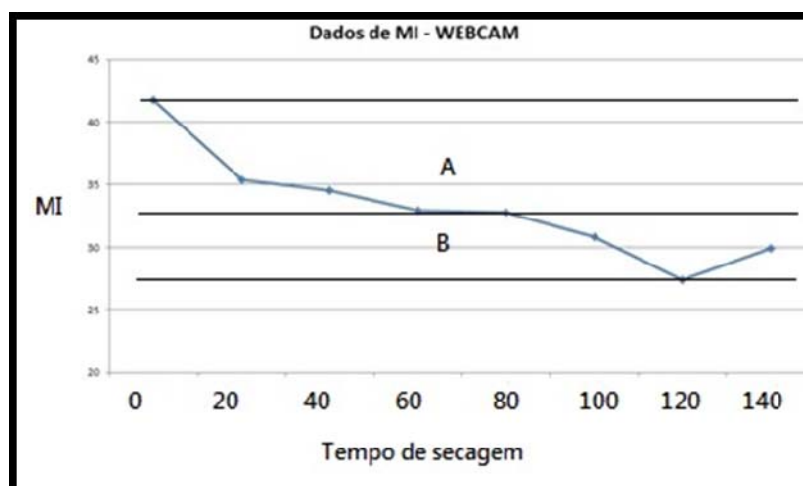


Gráfico 4 Dados de MI utilizando webcam

Os resultados adquiridos com o processamento das imagens provenientes da aquisição de dados utilizando a *webcam* mostraram um comportamento sem a característica esperada para o processo de secagem de

pintura do que aqueles adquiridos, por exemplo, com o uso do microscópio digital portátil. Mas analisando seu comportamento de modo isolado, é possível notar que os dados têm um maior decaimento até a quarta captura (A), que representa uma hora de secagem. Entre a quarta e quinta captura observa-se uma tendência à estabilização dos valores, porém a partir da quinta filmagem é possível observar uma instabilidade da tendência dos dados (B).

A não coerência entre os dois dispositivos se deve, a princípio, à capacidade de captura de cada um, sendo este um fator limitante para aquisição de dados com a *webcam*, visto que a não projeção da curva similar àquela apresentada pelos dados gravimétricos se deve à deficiência de captura do equipamento. Um detalhe que pode ser usado como prova disso são os valores de MI dos dois experimentos. Os valores de MI no experimento do microscópio digital portátil tiveram o valor máximo de número aproximado de 610 e 580 para dados sem e com ajuste de foco respectivamente, e valores mínimos próximos a 90 para os dois ajustes. Enquanto que o valor de MI máximo e mínimo mostrado pelos resultados dos dados adquiridos estão na ordem de aproximadamente 42 e 28 em mesma ordem.

Com análise gráfica da imagem acima apresentada e relacionando-a com dados do microscópio digital portátil, é possível ver que a *webcam* não obteve o mesmo sucesso dos resultados do dispositivo comparado. Porém ao mesmo tempo é possível notar que tal equipamento possui, mesmo que limitadas, qualidades suficientes para análise de atividade biológica, utilizando a técnica do *speckle laser*.

Desse modo acredita-se que a *webcam* possa ser utilizada como dispositivo de coleta de dados para análise de atividade utilizando o *speckle* dinâmico. Porém sua utilização fica restrita a análises de menor precisão e em casos em que não seja viável financeiramente o uso de um equipamento de aquisição de dados com maiores recursos.



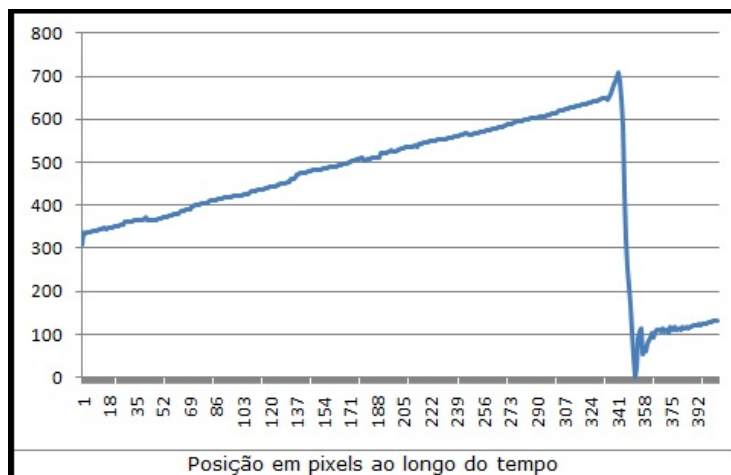


Gráfico 6 Resultado de monitoração de madeira

No eixo Y observa-se o deslocamento da madeira em pixels à medida em esta era deformada. A ruptura da madeira é observada quando o comportamento linear se interrompe. No Gráfico 5, é possível observar o caminho do cursor pela tela durante o processo de deformação, antes da projeção no eixo Y dos resultados e a sua utilização como evidenciado no Gráfico 6.

### 5.3.2 Monitoramento do diâmetro da artéria radial

No Gráfico 7, é possível observar o caminho percorrido pelo cursor do *mouse*, no gráfico 8, a representação gráfica dos dados processados referente ao caminho percorrido pelo *mouse* na tela do computador durante a monitoração da movimentação da pele e a sua respectiva projeção no eixo y.

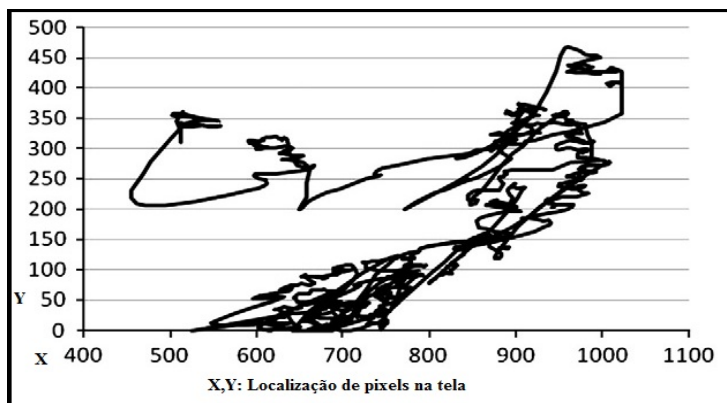


Gráfico 7 Caminho percorrido pelo *mouse* durante monitoramento de pulso

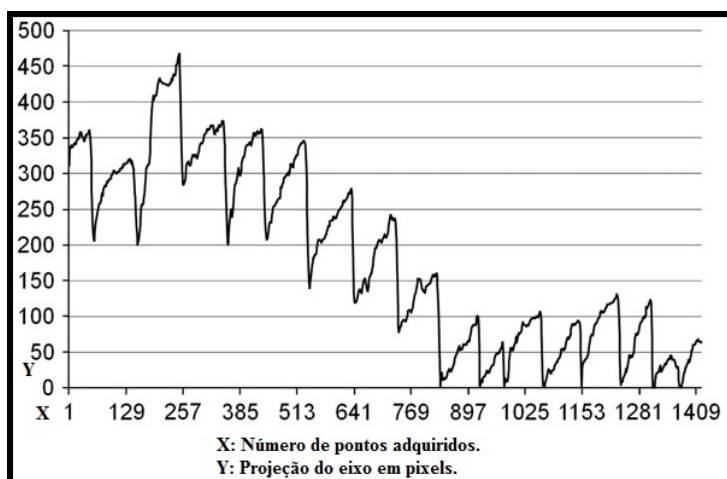


Gráfico 8 Representação gráfica do movimento da artéria radial

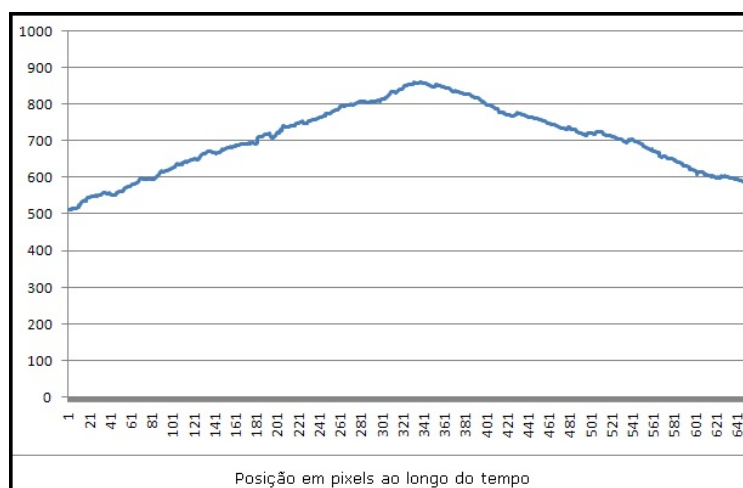
No Gráfico 8, é possível observar 16 períodos, sendo que cada um deles tem o valor de 1,14 Hz., uma vez que o processo de captura foi realizado a 100 Hz.

Ao transformarmos a frequência de 1,14 Hz em batidas por minuto, chegamos ao valor de 69 batidas por minuto, sendo este valor é bem próximo aos obtidos em outros experimentos como os de Costa (1995). Os resultados

obtidos são bem parecidos com aqueles propostos na literatura publicados por O'Rourke, Pauca e Jiang (2001), os quais salientam a importância da avaliação do pulso, uma vez que este é o primeiro sinal de vida de um paciente, sendo assim seu estudo de bastante relevância. Além disso, a variação de diâmetro da artéria radial é uma medida de vários parâmetros significantes do pulso arterial como a possibilidade de avaliar a hipertensão, a arteriosclerose, a parada cardíaca, os efeitos de drogas, entre outras (INTROZZI et al., 2005). No Gráfico 8, observa-se que é possível extrair um perfil de onda típico para a análise das perturbações citadas anteriormente, evidenciando que mais do que medir o batimento, a configuração experimental proposta permite avaliações mais elaboradas da artéria radial.

### 5.3.3 Monitoração de movimento de olho artificial

Com a movimentação do olho artificial sobre o goniômetro, foi possível observar que a movimentação de  $90^\circ$  realizada, sendo  $45^\circ$  para esquerda e  $45^\circ$  para a direita, essa movimentação está representada no Gráfico 9.



### Gráfico 9 Representação da movimentação do olho artificial

Apesar do ruído esperado, considerando a aspereza da superfície, o resultado adquirido pode ser considerado de boa qualidade. Diante disso, pode-se afirmar também que o *mouse* laser seria capaz de identificar o movimento em qualquer direção.

Sendo assim, é lançada a ideia de que o *mouse* laser e/ou seu funcionamento possam ser utilizados em projetos voltados à assistência de pessoas com deficiência a utilizarem dispositivos eletrônicos de processamento de dados.

#### **5.3.4 Monitoração de secagem de tinta**

O monitoramento do processo de secagem de tinta foi realizado pela coleta de conjunto de imagens de *speckle* dinâmico em duas regiões da moeda iluminada. Na Figura 25, é possível ver as duas regiões adquiridas com a captura realizada pelo *mouse* óptico adaptado. As duas áreas foram analisadas pelo método de Momento de Inércia e comparadas com os dados gravimétricos do experimento.

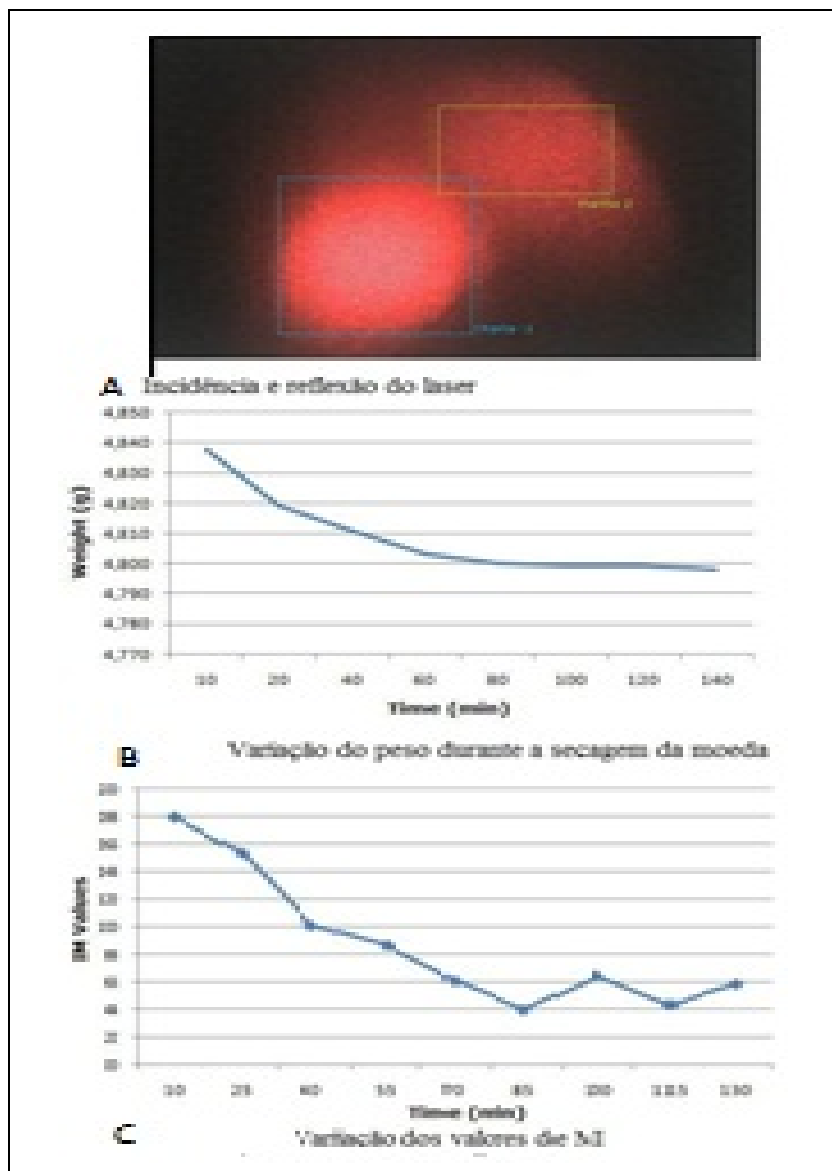


Figura 25 Incidência e reflexão do laser, dados gravimétricos e MI

Comparando os resultados, foi possível notar que a parte da imagem onde se tinha focalizado o *laser* não mostrou bons resultados, uma vez que pela proximidade do *laser* esta mostrou uma alta saturação. A parte da imagem que representa a reflexão causada pela incidência do *laser*, por ter uma menor saturação, pode oferecer melhores condições de análise. Além disso, por se tratar de uma reflexão, repetia o padrão de comportamento da imagem original.

Diante da comparação dos melhores dados de MI com os dados gravimétricos, pôde-se notar que o sensor CMOS adaptado dentro da estrutura do *mouse* óptico capturou imagens passíveis de análise através da técnica utilizada, mostrando um comportamento semelhante, mas não com a mesma qualidade do microscópio portátil.

Essa qualidade inferior pode ser atribuída tanto à qualidade da resolução do sensor CMOS utilizado pela *webcam* como também pela falta de recursos de ajustes do mesmo. Vale lembrar também que os sensores, apesar de compartilharem a mesma tecnologia, foram fabricados com finalidades diferentes.

Dessa maneira, é possível afirmar a viabilidade de uso do equipamento em algumas circunstâncias, mas também apresentar aos fabricantes de *mouse* uma alternativa para o seu uso, além da simples tarefa de captura de movimento. Nos *mouses* mais antigos, o CMOS e o DSP eram separados e, portanto, era possível acessar a imagem obtida pelo CMOS antes do processamento pelo DSP.

## 6 CONCLUSÕES

O trabalho evidenciou a viabilidade de uso de equipamentos mais acessíveis para a captura de dados do *speckle* dinâmico com robustez e flexibilidade. Em especial o trabalho mostrou que:

- a) *omouse* óptico apresenta viabilidade e confiabilidade no que se refere à representação e à observação de fenômenos de pouca alteração a olho nu. Com isso, esse dispositivo pode ser utilizado em diversas aplicações além daquelas mostradas na literatura e realizado neste trabalho;
- b) como sensor de atividade de secagem de tinta, o *mouse* adaptado também se mostrou eficiente, tendo como fator limitante o ajuste de foco da imagem;
- c) para que sua utilização possa ser otimizada, seria interessante a possibilidade de que seus dispositivos eletrônicos (DSP e CMOS) sejam fabricados separadamente, não integrando um único sensor, dando maiores funcionalidades ao produto bem como maior exploração em pesquisas científicas;
- d) *awebcam* apresentou viabilidade financeira como um dispositivo de aquisição de dados de maneira simples e maneira bastante acessível. O uso desse equipamento também se torna viável para aplicação da técnica do *speckle laser*, podendo ser utilizada como ferramenta prévia de avaliação de viabilidade em análise de atividade em novos experimentos, sem a necessidade de um investimento desnecessário;
- e) o *minimicroscópio* mostrou uma boa relação custo-benefício, as imagens de alta definição permitem extrair maiores informações dos fenômenos observados. Outro aspecto positivo do uso do *minimicroscópio* na aquisição de dados é a sua capacidade de

aproximação e ajuste de foco, podendo assim registrar com qualidade um mesmo fenômeno em distâncias diferentes.

### **6.1 Trabalhos futuros**

Diante dos resultados encontrados, foi possível analisar a necessidade de melhorias no programa de aquisição utilizado para reproduzir o movimento do *mouse* óptico em tela. Para isso, é necessário verificar a posição correta de posicionamento do mouse diante do movimento a ser monitorado, tendo como parâmetro a coordenada a ser reproduzida. Assim, a outra coordenada de movimentação não receberia valores de posicionamento do *mouse* em tela, e não seria necessário o descarte dos dados de uma das coordenadas. Dessa forma o próprio software poderá plotar o gráfico de representação de movimento.

A execução de novos experimentos, realizados diretamente em campo seria uma forma bastante interessante de validar este trabalho e cumprir o seu objetivo, proporcionando a diversos pesquisadores das mais variadas áreas a oportunidade de utilização desses dispositivos e da técnica do *speckle* dinâmico em situações e locais que não são utilizados atualmente.

## REFERÊNCIAS

- ALMAVY, J. I. et al. Application of dynamics speckle interferometry to the drying of coatings. **Progress in Organic Coatings**, Lausanne, v. 42, n. 1/2, p. 89-99, June 2001.
- ALVES, K. O. et al. Espectrofotômetro: com aquisição de imagem através de webcam. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PUCRS, 10., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 2009. p. 3019-3021.
- ANMOELECTRONICS. **DinoCapture manual de instrucciones**. Tokyo, 2010. 1 CD.
- ARIZAGA, R.; TRIVI, M. R.; RABAL, H. J. Speckle time evolution characterization by co-occurrence matrix analysis. **Optics & Laser Technology**, Surrey, v. 4, n. 3, p. 1-7, Mar. 1999.
- BRIERS, J. D. A note on the statistics of laser speckle patterns added to coherent and incoherent uniform background fields, and a possible application for the case of incoherent addition. **Optical and Quantum Electronics**, London, v. 7, n. 5, p. 422-424, Sept. 1975.
- BRIERS, J. D. Laser speckle contrast imaging for measuring blood flow. In: PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON PHOTONICS TECHNOLOGIES FOR FRAMEWORK PROGRAM, 7., 2006, Wrocław. **Proceedings...** Wrocław: Wrocław University of Technology, 2006. p. 328-332.
- BRIERS, J. D. Speckle fluctuations and biomedical optics: implications and applications. **Optical Engineering**, Redondo Beach, v. 32, n. 2, p. 277-283, Feb. 1993.

BURNEL, L. et al. Adaptive speckle imaging interferometry: a new technique for the analysis of micro- structure dynamics, drying processes and coating formation. **Journal Optics Express**, Sydney, v. 15, n. 23, p. 15250-15259, Nov. 2007.

CACELLA, P. M. F. de. **Técnicas com CCD e processamento de imagens**. Disponível em: <<http://cacella.tachyonweb.net/Tecnicas%20com%20CCD.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

CARVALHO, P. H. A. et al. Motility parameters assessment of bovine frozen semen by biospeckle laser (BSL) system. **Biosystems Engineering**, London, v. 102, n. 1, p. 31-35, Jan. 2009.

CELINSKI, T. M. **Classificação de cobertura do solo utilizando árvores de decisão e sensoriamento remoto**. 2008. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

COPYRIGHT PY SOFTWARE. **Active WebCam**. Disponível em: <<http://www.pysoft.com/Downloads/Active%20WebCam%20Manual.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2010.

COSTA, G. D. Optical remote sensing of heartbeats. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 117, n. 5/6, p. 395-398, June 1995. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0030401895001817>>. Acesso em: 20 fev. 2010.

EL-DESOUKI, M. et al. CMOS image sensors for high speed applications. **Sensors**, Lausanne, v. 9, n. 1, p. 430-444, Jan. 2009. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/1/430/>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

FIGUEIRA, J. S. Einstein, mouse ótico e maisena: uma análise do movimento Browniano. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 27., 2007, São Luis. **Anais...** Curitiba: UTFPR, 2007. p. 1-10.

FIGUEIRÓ, T. et al. Low cost image acquisition system for optical microscopy. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, 28., 2005, Natal. **Proceedings...** Natal: SIBGRAPI, 2005. Disponível em: <<http://lvelhoimpa.br/sibgrapi2005/html/p8580/p8580.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2010.

HOLST, G. Scientific CMOS image sensors. **Laser Photonics**, Lake Mary, v. 5, p. 18-21, 2009. Disponível em: <[http://www.scmos.com/downloads/laser\\_photonics\\_scmos\\_nov09.pdf](http://www.scmos.com/downloads/laser_photonics_scmos_nov09.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2010.

INFOWESTER. **Mouse**: funcionamento, tipos e principais características. Disponível em: <<http://www.infowester.com/mouse.php>>. Acesso em: 14 fev. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Programa CBERS**. São José dos Campos, 2007. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/?content=introducao>>. Acesso em: 22 dez. 2010.

INTROZZI, A. R. et al. Relación entre el envejecimiento y la morfología de los registros de variación de diámetro arterial: clasificación com redes neuronales artificiales. **Revista Argentina de Cardiología**, Buenos Aires, v. 73, n. 5, p. 352-357, sept./oct. 2005.

LIAO, C. M. et al. Robust technique of analyzing and locating laser speckle patterns for optical computer mice. **Optics and Lasers in Engineering**, London, v. 47, n. 7/8, p. 875-883, July/Aug. 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143816609000177>>. Acesso em: 15 maio 2010.

LITWILLER, D. CCD vs. CMOS: choosing an imager means considering not only the chip, but. **Photonics Spectra**, Pittsfield, 2001. Disponível em: <[http://www.dalsa.com/public/corp/Photonics\\_Spectra\\_CCDvsCMOS\\_Litwiller.pdf](http://www.dalsa.com/public/corp/Photonics_Spectra_CCDvsCMOS_Litwiller.pdf)>. Acesso em: 3 fev. 2010.

MARCON, M.; BRAGA JÚNIOR, R. A. Didatic dynamic speckle softwares. In: HECTOR, J. R.; BRAGA JÚNIOR, R. A. (Org.). **Dynamic laser speckle and applications**. 1<sup>st</sup> ed. Boca Raton: T. Francis CRC, 2008. v. 1, p. 233-246.

MIDTEC. **Webcam noturna MD- 615**. Disponível em: <[http://www.midtec.com.br/imagem/suporte/manual/17\\_webcam\\_noturna\\_com\\_mic\\_manual.pdf](http://www.midtec.com.br/imagem/suporte/manual/17_webcam_noturna_com_mic_manual.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2010.

NG, T. W.; ANG, K. T. The optical mouse for harmonic oscillator experimentation. **American Journal of Physics**, New York, v. 73, n. 8, p. 793-794, Aug. 2005. Disponível em: <<http://link.aip.org/link/AJPIAS/v73/i8/p793/s3&Agg=doi>>. Acesso em: 13 fev. 2010.

NG, T. W.; CARNE, M. Optical mouse digital speckle correlation. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 280, n. 2, p. 435-437, Dec. 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0030401807008486>>. Acesso em: 13 fev. 2010.

NG, T. W.; CHEONG, T. L.; SHERIDAN, J. Digital readout manometer using an optical mouse. **European Journal of Physics**, London, v. 28, n. 2, p. 11-16, Mar. 2007. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/0143-0807/28/i=2/a=N02?key=crossref.3f5d604d826ef7a4bb6f153ddb480643>>. Acesso em: 13 fev. 2010.

NG, T. W.; CHEONG, T. L. The optical mouse as an inexpensive region-of-interest position recorder in optical microscopy. **Microscopy Research and Technique**, New York, v. 63, n. 4, p. 203-205, Mar. 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14988917>>. Acesso em: 13 fev. 2010.

NG, T. W. Measuring viscoelastic deformation with an optical mouse. **Journal of Chemical Education**, Easton, v. 81, n. 11, p. 1628-1629, Nov. 2004a.

NG, T. W. The optical mouse as a two-dimensional displacement sensor. **Sensors and Actuators A: Physical**, Lausanne, v. 107, n. 1, p. 21-25, Oct. 2003. Disponível em:  
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424703002565>>. Acesso em: 13 fev. 2010.

NG, T. W. The optical mouse for vibratory motion sensing. **Sensors and Actuators A: Physical**, Lausanne, v. 116, n. 2, p. 205-208, Oct. 2004b. Disponível em:  
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424704002651>>. Acesso em: 13 fev. 2010.

NIERI, T. M. et al. The optical analysis of the abdominal wall using the biospeckle after implants of polypropylene mesh in rats. **Acta Cirurgica Brasileira**, São Paulo, v. 24, n. 6, p. 442-448, Nov./Dec. 2009.

OLIVEIRA, L. G. L. de et al. Comparação das áreas de queimada obtidas através de dados de campo e de dados do sensor CCD/CBERS 2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1017-1022.

OLYMPUS. **Olympus soluções industriais**. Disponível em:  
<<http://www.olympus-ims.com/data/File/solutions/Industrialsolution.pt.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2010.

O'ROURKE, M. F.; PAUCA, A.; JIANG, X. J. Pulse wave analysis and prevalent cardiovascular disease in type 1 diabetes. **British Journal of Clinical Pharmacology**, Oxford, v. 51, n. 6, p. 507-522, June 2001. Disponível em:  
<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20880527>>. Acesso em: 5 abr. 2010.

OULAMARA, A. et al. Biological activity measurement on botanical specimen surface using temporal decorrelation effect of laser speckle. **Journal of Modern Optics**, London, v. 36, n. 2, p. 165-179, Feb. 1989.

POMARICO, J. A. et al. Speckle interferometry applied to pharmacodynamics studies: evaluation of parasite motility. **European Biophysics Journal**, New York, v. 33, n. 8, p. 694-699, Dec. 2004.

PRADO, A. D. **Câmera digital CMOS para projetos embarcados**. 2006. 61 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

RABAL, H. J. et al. O uso do laser na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia, 1998. 1 CD-ROM.

RÉ, P. **O ABC das câmaras CCD**. Disponível em:

<[http://www.apaaweb.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38:o-abc-das-camaras-ccd&catid=19:fotografar&Itemid=27](http://www.apaaweb.com/index.php?option=com_content&view=article&id=38:o-abc-das-camaras-ccd&catid=19:fotografar&Itemid=27)>. Acesso em: 17 out. 2010.

SANTIAGO, A. R.; PEREIRA, A. Imagens do sensor CCD/CBERS-2 como subsídio na distinção entre fitofisionomias florestais, savânicas e campestres do bioma cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 2147-2154.

VIANA, J. A.; BERCHT, M. O uso do webcam na educação. **Revista Rernote Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 519-529, dez. 2009.

WIKIPEDIA. **Webcam**. Disponível em: <

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Webcam>>. Acesso em: 15 mar. 2010.

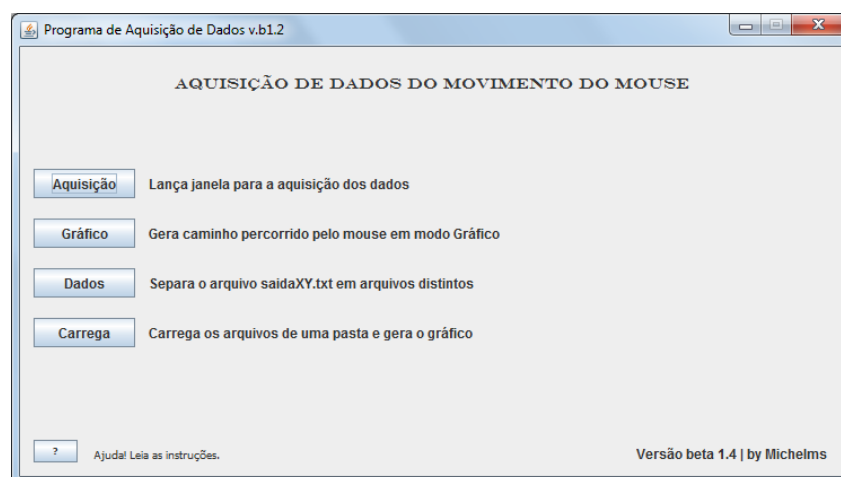
WONG, H. S. P. et al. Nanoscale CMOS. **Proceedings of the IEEE**, New York, v. 87, n. 4, p. 537-570, Apr. 1999. Disponível em:  
<<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=752515>> .  
Acesso em: 12 dez. 2010.

XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. M. Temporal and spatial properties of the time varying speckles of botanical specimens. **Optical Engineering**, California, v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.

## ANEXOS

ANEXO A - Programa de aquisição de dados de movimento do mouse

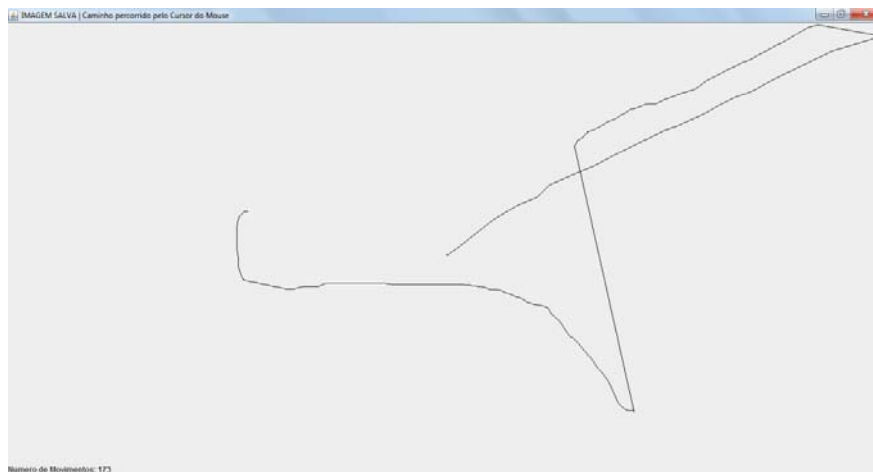
ANEXO A 1 - Layout tela inicial



ANEXO A 2 - Tela de aquisição



## ANEXO A – 3 Exemplo de captura de movimento



## ANEXO A – 4 Dados de saída

saidaY - Bloco de ...	saidaX - Bloco de notas
Arquivo	Arquivo
Editar	Editar
Formatar	Formatar
Exibir	Exibir
Ajuda	Ajuda
246	684
245	685
256	701
300	757
323	795
336	826
354	844
363	864
374	889
384	914
398	940
425	994
440	1025
447	1045
466	1087
481	1113
492	1136
501	1161
520	1195
564	1287
587	1365
605	1264
601	1249
593	1235
585	1222
576	1207
575	1203
565	1185
559	1173
550	1158
546	1146
540	1134
537	1128
534	1121
	1111

## ANEXO B - Códigos fonte

## ANEXO B 1 - Classe de captura de eventos do mouse

```

/*
 * Classe que captura e trata os eventos do mouse e do teclado para isso
 * implementa as classes KeyListener e MouseListener
 */
package aquisicaodedadosmouse;
// Bibliotecas Gráficas
import java.awt.Color;
import java.awt.BorderLayout;
// Bibliotecas para Eventos do Mouse
import java.awt.event.MouseEvent;
import java.awt.event.MouseMotionListener;
import java.awt.event.MouseListener;
// Bibliotecas de Desenho
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JPanel;
import javax.swing.JLabel;
import javax.swing.JOptionPane;
// Bibliotecas de Evento de Teclado
import java.awt.event.KeyEvent;
import java.awt.event.KeyListener;
// Bibliotecas de impressão em arquivo
import java.io.PrintWriter;
// Pacotes para criar eventos
import java.awt.Robot;
import java.awt.AWTException;
// Pacotes para analisar a Tela do usuario
import java.awt.Dimension;
import java.awt.Toolkit;
/**Classe que captura e trata os eventos do mouse e do teclado para isso
 * implementa as classes KeyListener e MouseListener.
 * @author Michelms
 */
public class MouseTrackerFrame extends JFrame implements KeyListener {
// Objeto JPanel
private JPanel Panel;
// Objeto JLabel para a barra de status
private JLabel statusBar;
//String que vai receber as posicoes
private String posicao = new String();
// Inteiro que guarda a quantidade de leitura que ja foi feita
private int qtd = 0;

```

```

/**Construtor da Classe MouseTrackerFrame
 * @autor Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 * @param
 */
public MouseTrackerFrame(){
super("Aquisição de Dados com o mouse");
// Cria o painel
Panel = new JPanel();
// Muda a cor de fundo do painel
Panel.setBackground(Color.LIGHT_GRAY);
// Adiciona painel ao Frame
add(Panel, BorderLayout.CENTER);
//Cria a barra de status
statusBar = new JLabel("Mouse fora do Painel");
// Adiciona a barra de status na parte de baixo do painel
add(statusBar, BorderLayout.SOUTH);
// Objeto MouseHandler
MouseHandler handler = new MouseHandler();
// Adiciona os metodos de tratamento de evento do mouse ao Painel
Panel.addMouseListener(handler);
Panel.addMouseMotionListener(handler);
addKeyListener(this);
} // Fim do construtor
/**
 * Metodos que devem ser implementados por extender da KeyListener
 */
public void keyReleased(KeyEvent event){ }
public void keyTyped (KeyEvent event){ }
/**Metodo que trata o evento do teclado quando uma tecla é pressionada. Se
 * esta for a tecla 'SPACE' (espaco) ele imprime os pontos em um arquivo de
 * texto (.txt) chamado 'saida.txt' salvo na pasta onde esta o arquivo
 * executavel do programa.
 * @autor Michelms
 * @version b1.4
 * @since b1
 * @param event KeyEvent - objeto da classe KeyEvent (java.awt.event.)
 * @return void
 */
public void keyPressed(KeyEvent event){
switch (event.getKeyCode()){
// Caso aperte a tecla 'espaço'
case 32:
// Objeto Writer
Writer writer = new Writer();

```

```

// Cria o arquivo com as informacoes da String posicao
writer.writeString(posicao, "saidaXY.txt");
// Cria o arquivo NumMovimentos.txt com as informacoes da qtd
writer.writeString(String.format("%d", qtd),
"NumMovimentos.txt");
// Reseta as variaveis
posicao = null;
qtd = 0;
// Mensagem informativa
JOptionPane.showMessageDialog(null, "\n\nO arquivo SaidaXY." +
"txt foi gerado com sucesso.\n" +
"Este foi salvo na pasta onde " +
"esta o arquivo executavel." +
"\n\nPressione ENTER para " +
"continuar.\n\n",
"Arquivo Gerado",
JOptionPane.DEFAULT_OPTION);
break;
// Reseta a aquisicao
// Caso aperte a tecla R
case 82:
// Objeto que analisa a Tela
Dimension tela = Toolkit.getDefaultToolkit().getScreenSize();
try {
// Movimenta para o meio da tela
movimentaMouse((int)tela.getWidth()/2,
(int)tela.getHeight()/2);
} catch (Exception e){
// Caso nao consiga, lança uma excessao e exhibe uma mensagem
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Erro no reset do " +
"programa.\nFavor reporte " +
"esse erro ao desenvolvedor" +
" e informe o Sistema " +
"Operacional utilizado.\n",
"ERRO",
JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
} // Fim do catch
// Reseta as variaveis
posicao = String.format("%d %d\n", (int)tela.getWidth()/2,
(int)tela.getHeight()/2);
qtd = 0;
break;
// Caso aperte a tecla F
// Fecha a janela
case 70:
// Mensagem para confirmar se deseja mesmo fechar

```

```

if (JOptionPane.showConfirmDialog(null, "Deseja realmente " +
"fechar essa janela?\n\n",
"Fechar",
JOptionPane.YES_NO_OPTION)
== 0){
this.dispose();
}
}
} // Fim do metodo KeyPressed
/**Metodo para movimentar o cursor do mouse. Rece como parametro as coordenas X e Y, respectivamente, para onde o cursor deve se mover.
* @autor Michelms
* @version b1.1
* @since b1
* @param event KeyEvent - objeto da classe KeyEvent (java.awt.event.)
* @return void
*/
public void movimentaMouse(int posX, int posY) throws AWTException {
// Objeto Robot
Robot faz = new Robot();
// Movimenta p mouse para a coordenada X e Y passada por parametro.
faz.mouseMove(posX, posY);
}
/**Classe que modifica os eventos do mouse enquanto estiver dentro do Painel
* @autor Michelms
* @version b1
* @since b1
*/
private class MouseHandler implements MouseListener, MouseMotionListener{
/**Método que mostra a posicao do cursor e muda a cor de fundo quando o
* cursor entra no Painel.
* @autor Michelms
* @version b1
* @since b1
* @param event MouseEvent - objeto da classe MouseEvent (java.awt.event.)
* @return void
*/
public void mouseEntered( MouseEvent event ){
statusBar.setText(String.format("Mouse: [%d, %d]", event.getX(),
event.getY() ) );
Panel.setBackground(Color.GRAY);
}
/**Metodo que muda a cor de fundo e exibe uma mensagem quando o cursor
* está fora do Painel.
* @autor Michelms
* @version b1

```

```

* @since b1
* @param event MouseEvent - objeto da classe MouseEvent
* (java.awt.event.)
* @return void
*/
public void mouseExited( MouseEvent event){
// Seta o texto exibido na barra de status
statusBar.setText("Mouse fora do painel");
// Seta a cor de fundo
Panel.setBackground(Color.LIGHT_GRAY);
}
/**Metodo que guarda a posicao do cursor em uma string e exhibe na barra
* de status quando o cursor se move dentro do Painel.
* @autor Michelms
Classe de captura de eventos do mouse
* @version b1
* @since b1
* @param event MouseEvent - objeto da classe MouseEvent
* (java.awt.event.)
* @return void
*/
public void mouseMoved( MouseEvent event){
// Seta o texto exibido na barra de status mostrando as coordenadas
statusBar.setText(String.format("Posição do Mouse: [%d, %d]",
event.getX(),
event.getY()));
// Coloca a nova coordenada na String
posicao = posicao + (String.format("%d %d\n", event.getX(),
event.getY()));
// Incrementa a quantidade de movimentos
qtd++;
}
/**
* Metodos necessarios para implementar as Classes MouseListener e
* MouseMotionListener da java.awt.event
*/
public void mouseReleased (MouseEvent event){ }
public void mousePressed (MouseEvent event){ }
public void mouseClicked (MouseEvent event){ }
public void mouseDragged (MouseEvent event){ }
} // Fim da Classe MouseTrackerFrame
} // Fim da Classe MouseTrackerFrame

```

## ANEXO B 2 – Classe de leitura de arquivo.pdf

Sem título

```

/*
 * Classe que le Strings de arquivo.
 */
package InputOutput;
import java.io.*;
import javax.swing.JOptionPane;
/**Classe que le Strings de arquivo.
 * data: 20/05/2009
 * @author Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 */
public class Reader {
/**Metodo que recebe o diretorio de um arquivo, onde ele fara a leitura dos
 * arquivos "NumMovimentos.txt" e "SaidaXY.txt", então retorna um vetor de
 * String em que cada posicao contera uma linha do arquivo lido, ou um vetor
 * null se nao conseguir ler.
 * @autor Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 * @param diretorio String - Diretorio onde ele fará a leitura dos arquivos.
 * @return String[]
 */
public String[] read(String diretorio){
//String linha;
String linha;
// Trata o caso do diretorio nao ser passado
if(diretorio == null){
diretorio = "";
}
try{
// objeto da Classe BufferedRead para ler de um arquivo.
BufferedReader ler = new BufferedReader(
new FileReader(diretorio+"NumMovimentos.txt"));
// le a primeira linha, para saber quantas mais vao ser lidas.
linha = ler.readLine();
int linhas = Integer.valueOf(linha).intValue();
ler = new BufferedReader(new FileReader(diretorio + "SaidaXY.txt"));
// cria o vetor de String.
String[] leitura = new String[linhas];
// faz a leitura de todas as linhas.
for (int i = 0; i < linhas; i++){

```

```
leitura[i] = ler.readLine();
}
// fecha o arquivo.
ler.close();
Página 1
Sem título
// retorna o vetor de String.
return leitura;
}catch(Exception erro){
// Mensagem de erro.
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Ocorreu um erro na leitura" +
"do arquivo!\n\nA execução foi interrompida.\n\n\n" +
"Especificacao do erro: \n" + erro,
"ERRO", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
//caso ocorra algum problema o programa retorna um vetor vazio.
return null;
}
}
}
```

## ANEXO B 3 – Classe de leitura Strings

```

classe de leitura de Strings
/*
 * Classe que le Strings de arquivo.
 */
package InputOutput;
import java.io.*;
import javax.swing.JOptionPane;
/**Classe que le Strings de arquivo.
 * data: 20/05/2009
 * @author Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 */
public class Reader {
/**Metodo que recebe o diretorio de um arquivo, onde ele fara a leitura dos
 * arquivos "NumMovimentos.txt" e "SaidaXY.txt", então retorna um vetor de
 * String em que cada posicao contera uma linha do arquivo lido, ou um vetor
 * null se nao conseguir ler.
 * @autor Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 * @param diretorio String - Diretorio onde ele fará a leitura dos arquivos.
 * @return String[]
 */
public String[] read(String diretorio){
//String linha;
String linha;
// Trata o caso do diretorio nao ser passado
if(diretorio == null){
diretorio = "";
}
try{
// objeto da Classe BufferedRead para ler de um arquivo.
BufferedReader ler = new BufferedReader(
new FileReader(diretorio+"NumMovimentos.txt"));
// le a primeira linha, para saber quantas mais vao ser lidas.
linha = ler.readLine();
int linhas = Integer.valueOf(linha).intValue();
ler = new BufferedReader(new FileReader(diretorio + "SaidaXY.txt"));
// cria o vetor de String.
String[] leitura = new String[linhas];
// faz a leitura de todas as linhas.
for (int i = 0; i < linhas; i++){

```

```
leitura[i] = ler.readLine();
}
// fecha o arquivo.
ler.close();
Página 1
classe de leitura de Strings
// retorna o vetor de String.
return leitura;
}catch(Exception erro){
// Mensagem de erro.
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Ocorreu um erro na leitura" +
"do arquivo!\n\nA execução foi interrompida.\n\n\n" +
"Especificacao do erro: \n" + erro,
"ERRO", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
//caso ocorra algum problema o programa retorna um vetor vazio.
return null;
}
}
}
```

## ANEXO B 4 – Classe para ler e escrever dados em arquivo em txt

```

/*
 * Classe para alterar dados.
 */
package Processamento;
// Pacote para ler e escrever dados em arquivo .txt
import InputOutput.Reader;
import InputOutput.Writer;
// Pacote de Interface Grafica
import javax.swing.JOptionPane;
/**Classe para alterar e processar dados.
 * @author Michelms
 */
public class ProcessaDados {
/**Metodo para ler os dados do arquivo saidaXY.txt.
 * @since b1
 * @version b1
 * @param caminho String - String que representa o caminho do diretorio onde
 * esta o arquivo que sera lido
 * @return String[] - vetor de String com o arquivo lido. Sendo cada linha
 * uma posicao do vetor
 */
public String[] leDados(String caminho){
Reader ler = new Reader();
return ler.read( caminho );
}
/**Metodo que recebe o vetor de String onde está as coordenadas do cursor e
 * retorna um vetor de vetores de inteiro com essas coordenadas. O vetor é
 * do tipo 2xN, nas primeiras posições (1xN)tem as coordenadas X e na
 * segunda posição (2xN) as coordenadas Y.
 * @autor Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 * @param dados String[] - Vetor de Strings onde estão os dados que serão
 * copiados para o vetor de vetores de inteiro.
 * @return int[][] - Vetor que contem as coordenadas X e Y.
 */
public int[][] getCoordenadas(String[] dados){
// Vetor de String para quebrar a String dado[i]
String[] aux = new String[2];
// Vetor de Vetores de inteiro para armazenar as coordenadas
int[][] vet = new int[dados.length][2];
// Separa as coordenadas X e Y em dois vetores de inteiros diferentes
for (int i = 0; i < dados.length; i++){

```

```

    aux = dados[i].split(" ");
    vet[i][0] = Integer.parseInt(aux[0]);
    vet[i][1] = Integer.parseInt(aux[1]);
    }
    return vet;
    }
    /**Metodo que quebra o vetor gerado pelo metodo leDados() em um veotr de
    * Strings de duas posicoes, onde na primeira tera todas a coordenadas de
    * X e na outra todas as coordenadas de Y.
    * @autor Michelms
    Página 1
    Classe para ler e escrever dados em arquivo em txt
    * @version b1
    * @since b1
    * @param vetor String[] - Vetor de Strings onde estão os dados que serão
    * copiados para o vetor String.
    * @return String[][] - Vetor que contem as coordenadas X e Y.
    */
    public String[] separaCoordenadas(String[] vetor){
    // Vetor de String que vai separar
    String[] coord = new String[3];
    String[] aux = new String[2];
    try {
    // Inicia o vetor
    coord = vetor[0].split(" ");
    // A cada posicao do vetor "vetor" o primeiro numero(X) vai para a
    // primeira posicao do vetor e o segundo(Y) para a segunda posicao.
    for( int i=1; i < vetor.length; i++){
    aux = vetor[i].split(" ");
    coord[0] = coord[0] + "\n" + aux[0];
    coord[1] = coord[1] + "\n" + aux[1];
    }
    } catch (Exception e) {
    // Caso nao consiga, lança uma excessao e exhibe uma mensagem
    JOptionPane.showMessageDialog(null, "Erro na abertura do " +
    "arquivo.\nO saidaXY.txt esta " +
    "em branco.\nPor conta desse erro" +
    " outras mesnsagens surgirão.\n",
    "ERRO",
    JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
    }
    return coord;
    }
    /**Metodo que imprime as coordenadas separadas no arquivo.
    * @autor Michelms
    * @version b1

```

```
* @since b1
* @param coord String[] - Vetor de Strings onde estão os dados que serão
* impressos.
* @return void
*/
public void ImprimeCoordenadasSeparadas(String[] coord){
// Objeto Writer
Writer writer = new Writer();
// Imprime o conteudo da String coord[0] no arquivo saidaX.txt
writer.writerString(coord[0], "saidaX.txt");
// Imprime o conteudo da String coord[1] no arquivo saidaY_java.txt
writer.writerString(coord[1], "saidaY_java.txt");
// Coloca cada coordenada Y do arquivo em uma posicao do vetor aux
String[] aux = coord[1].split("\n");
// Inteiro para achar o valor maximo da coordenada Y
int max = Integer.parseInt(aux[0]);
// Encontra o maior valor da coordenada Y
for (int i = 1; i < aux.length; i++){
if(max < Integer.parseInt(aux[i])){
max = Integer.parseInt(aux[i]);
}
}
// Seta o novo valor de aux[0]
aux[0] = String.format("%d", (max - Integer.parseInt(aux[0])));
// Coloca todas as coordenadas Y na String aux[0] com os novos valores
for (int i = 1; i < aux.length; i++){
aux[0] = aux[0] + "\n" + String.format("%d",
(max - Integer.parseInt(aux[i])) );
}
// Imprime o conteudo da String aux[0] no arquivo saiday.txt
writer.writerString(aux[0], "saidaY.txt");
}
}
```

## ANEXO B 5 - Classe que escreve uma string passada por parâmetro

```

/*
 * Classe que escreve uma string passada por parametro em um arquivo também
 * passado por parametro.
 */
package InputOutput;
import java.io.*;
import javax.swing.JOptionPane;
/**Classe que escreve uma string passada por parametro em um arquivo também
 * passado por parametro.
 * @author Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 */
public class Writer {
// Objeto de escrita da classe BufferedWriter.
private BufferedWriter writer;
private String[] linha;
/**Metodo que recebe uma string e um nome como parametro. Quebra a String
 * toda vez que acha uma 'quebra de linha' e escreve no arquivo. Retorna
 * true se for bem sucedido ou false se falhar.
 * @autor Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 * @param texto String - String que será escrita no arquivo.
 * @param arquivo String - String que dará o nome ao arquivo.
 * @return boolean.
 */
public boolean writerString (String texto, String arquivo){
try{
// Cria e abre um arquivo para escrita.
writer = new BufferedWriter(new FileWriter(arquivo));
// Escreve a String no arquivo.
linha = texto.split("\n");
for(int i = 0; i < linha.length; i++){
writer.write(linha[i]);
writer.newLine();
}
writer.close();
return true;
} catch (Exception erro) {
// Chama a funcao de erro.
erroDeEscrita(erro);
return false;
}
}

```

```

}
}
/**Metodo que recebe um vetor de string e um nome como parametro. Quebra a
 * String toda vez que acha uma 'quebra de linha' e escreve no arquivo.
 * Retorna true se for bem sucedido ou false se falhar.
 * * @autor Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 * @param texto String[] - vetor de String que será escrito no arquivo.
 * arquivo String - String que dará o nome ao arquivo.
 * @return boolean.
 */
public boolean writerString (String texto[], String arquivo){
try{
// Cria e abre um arquivo para escrita.
writer = new BufferedWriter(new FileWriter(arquivo));
// Escreve a String no arquivo.
for(int i = 0; i < texto.length; i++){
linha = texto[i].split("\n");
for(int j = 0; j < linha.length; j++){
writer.write(linha[j]);
writer.newLine();
}
}
// Fecha o arquivo.
writer.close();
return true;
} catch (Exception erro){
// Chama a funcao de erro.
erroDeEscrita(erro);
return false;
}
}
/**Metodo erroDeEscrita.
 * Cria uma interface JOptionPane para informar ao usuario que ocorreu um
 * erro na escrita do arquivo de saida e Encerra o programa retornando o
 * inteiro 3.
 * Recebe um objeto do tipo Exception para acessar o metodo toString e
 * mostrar a descricao do erro para o usuario.
 * * @autor Michelms
 * @version b1
 * @since b1
 * @param erro Exception - objeto da classe Exception
 * @return void.
 */
public void erroDeEscrita(Exception erro){

```

```
// Mensagem de Erro.  
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Ocorreu um erro na escrita " +  
"do arquivo de saida!\n\nO programa sera fechado.\nO " +  
"algoritmo foi executado mas a construcao do arquivo de " +  
"saida nao sucedeu.\n\nEspecificacao do erro:\n" + erro,  
"FATAL ERROR", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);  
}  
}
```

## ANEXO C 6 – Classe que gera caminho do mouse na tela

```

/* Classe que irá gerar o caminho percorrido pelo mouse no JPanel usando os
 * dados do arquivo saidaXY.txt em modo gráfico.
 * @autor Michelms
 * @version b1.4
 * @since b1
 */
package Interface;
// Pacotes para desenho
import java.awt.Color;
import java.awt.Graphics;
import javax.swing.JPanel;
import java.awt.Graphics2D;
// Pacotes para salvar a imagem
import java.awt.image.BufferedImage;
import java.io.File;
import java.io.IOException;
import java.util.logging.Level;
import java.util.logging.Logger;
import javax.imageio.ImageIO;
/**Classe que irá gerar o caminho percorrido pelo mouse no JPanel usando os
 * dados do arquivo saidaXY.txt em modo gráfico.
 * @author Michelms
 * @version b1.4
 * @since b1
 */
public class GeraGrafico extends JPanel {
// Variavel que vai receber as coordenadas
int vet[][] = null;
/**Construtor da Classe GeraGrafico.
 * @author Michelms
 * @version b1.4
 * @since b1
 * @param int[][] vetor: Vetor de vetor de inteitos, representa as
 * coordenadas que serão desenhadas.
 */
public GeraGrafico(int[][] vetor){
vet = vetor;
}
/**Metodo que realiza o desenho no JPanel e salva a imagem desenhada em
 * disco. Esta classe é chamada automaticamente quando se instancia o
 * objeto da classe GeraGrafico.

```

```
* @autor Michelms
* @version b1.4
* @since b1.4
* @param g Graphics - Objeto da classe Graphics (java.awt.)
* @return void
*/
public void paintComponent(Graphics g){
// Cria um objeto de Buffer e dimensiona para o tamanho da figura
BufferedImage buf = new BufferedImage(this.getWidth(),
this.getHeight(),
BufferedImage.TYPE_INT_RGB);
// Cria um objeto de desenho já insatnciado usando o objeto buf
Graphics2D g2Img = (Graphics2D)buf.getGraphics();
// Seta a cor das linhas que serão desenhadas
g2Img.setColor(Color.black);
// Sobe o objeto g2Img
super.paintComponent(g2Img);
// Roda o vetor inteiro desenhando da coordenada anterior para a atual.
for( int i=1; i < vet.length; i++){
// Desenha linhas começando no primeiro par de coordenadas e
// terminando no outro par
g2Img.drawLine(vet[i-1][0], vet[i-1][1], vet[i][0], vet[i][1]);
}
//Desenha a imagem em g2Img sobre g
g.drawImage(buf, 0, 0, this);
try {
//salva no mesmo diretorio que o programa
ImageIO.write(buf, "bmp", new File("Caminho_mouse.bmp"));
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(GeraGrafico.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
}
}
```