



ANDERSON GOMIDE COSTA

**PREDIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE DANOS
INTERNOS EM BATATAS POR MEIO DO
*BIOSPECKLE LASER***

LAVRAS - MG

2011

ANDERSON GOMIDE COSTA

**PREDIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE DANOS INTERNOS EM BATATAS
POR MEIO DO *BIOSPECKLE* LASER**

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

Orientador

Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Coorientador

Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas

LAVRAS - MG

2011

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

Costa, Anderson Gomide.

Predição e identificação de danos internos em batatas por meio do *biospeckle laser* / Anderson Gomide Costa. – Lavras : UFLA, 2011.

81 p. : il.

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

Orientador: Roberto Alves Braga Júnior.

Bibliografia.

1. *Internal bruising*. 2. Impactos mecânicos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 621.366

ANDERSON GOMIDE COSTA

**PREDIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE DANOS INTERNOS EM BATATAS
POR MEIO DO *BIOSPECKLE* LASER**

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

APROVADA em 15 de Julho de 2011.

Dr. Roberto Alves Braga Júnior UFLA

Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas UFLA

Dr. Inácio Maria dal Fabro UNICAMP

Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Orientador

Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas

Coorientador

LAVRAS - MG

2011

*A minha mãe, Lucemar, ao meu pai Lúcio e à minha avó Glória os quais
estiveram ao meu lado em todos os momentos.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me guiar e mostrar os caminhos corretos a seguir, por me dar tranquilidade nos momentos conturbados e inteligência nos momentos difíceis.

À minha avó Glória pelos cuidados, carinho e dedicação em todos estes anos.

Ao meu pai Lúcio e à minha mãe Lucemar pela dedicação e luta para que se tornasse possível o alcance de mais um objetivo da minha vida. Obrigado!

Aos meus irmãos, Otávio, Lucinho e Tamara, pela convivência e amizade.

Ao Paulinho pela amizade e ajuda nos momentos difíceis.

Aos demais familiares pela força, torcida e orações.

Ao professor Roberto Braga pela amizade, paciência, confiança e dedicação em minha orientação desde os tempos de iniciação científica. Com certeza uma referência como profissional para a minha vida.

Ao professor Giovanni Rabelo pela ajuda nos trabalhos desenvolvidos e pela confiança durante estes anos.

Aos professores Eduardo Vilas Boas e Bruno Barbosa, pelas dicas e sugestões que ajudaram muito no desenvolvimento e melhoria deste trabalho, explicações e apoio ao longo de todo o mestrado.

Ao professor Fábio Moreira pela disponibilidade em resolver os eventuais problemas ocorridos durante o mestrado.

À Greice, secretária da pós, por sempre estar disposta a ajudar e pela sua paciência comigo.

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras e ao departamento de Engenharia por me propiciar a oportunidade de realização do mestrado.

À CAPES e ao CNPq pela concessão das bolsas durante o período de mestrado.

Aos meus amigos de CEDIA, Kleber, Tampico, Nozela, Michel, Márcio Canela, Sr. Antônio, Rodrigo, Yakut, Isis, Layza e demais amigos, pela ajuda, pelas conversas, pelos cafés na cantina e por tornar o nosso laboratório um lugar muito bom de trabalhar. Valeu mesmo.

Ao companheiro de trabalho e amigo Shan, agora Sr. Cardoso, pela parceria em todos estes anos, pelas dicas nos projetos e por me ajudar a “comandar” diversos trabalhos.

Aos meus grandes amigos da Engenharia Agrícola, da pós em Recursos Hídricos, às meninas “dos alimentos”, às meninas do Matisse e todos os outros que fizeram este período muito mais divertido, com grandes momentos de descontração.

À Cissa Zambiasi por ser uma grande amiga e mesmo longe dividir comigo as vitórias e os momentos difíceis durante nosso período de mestrado.

Agradeço, também, a todos os professores e técnicos que de alguma forma estiveram presentes nesta jornada.

A todos, o meu sincero obrigado!

RESUMO

Injúrias provocadas em alimentos em virtude de impactos mecânicos ocorridos nas etapas da pós-colheita são um dos grandes problemas enfrentados para a indústria alimentícia. Em batatas, as perdas por danos físicos na produção podem chegar até 40% durante as fases de beneficiamento, armazenamento, transporte e comercialização. Injúrias internas, conhecidas como *internal bruising*, são um dos grandes responsáveis pelas perdas por danos mecânicos na produção de batatas. Estas injúrias internas se caracterizam pelo escurecimento da superfície danificada por um impacto e é proveniente de reações de oxidação associadas à aceleração metabólica de algumas enzimas. Técnicas que permitam mensurar e prever se um impacto é capaz de gerar uma injúria interna em batatas são fundamentais para o auxílio na tomada de decisão sobre o uso de medidas preventivas do controle que possibilitará uma redução de perdas na produção e valorização do produto. A técnica do *biospeckle laser* é baseada em um fenômeno óptico de interferência gerado a partir da interação de uma luz coerente com materiais biológicos ou sistemas dinâmicos. Por meio de métodos de tratamento digital nos padrões de interferência gerados é possível identificar e quantificar diferentes níveis de atividades em um tecido, como tumores em células animais ou danos em alimentos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade da técnica do *biospeckle laser* em prever a ocorrência de injúrias internas ainda em momentos de não identificação visual do escurecimento causado em batatas após impactos mecânicos controlados. Os padrões de interferência foram coletados a partir da configuração experimental baseada *back-scattering* e processados por técnicas de abordagens numéricas e gráficas. Um pêndulo foi utilizado como instrumento para gerar de forma controlada os impactos nas batatas. Foram analisados os padrões de atividades nas regiões de desenvolvimento dos danos, em regiões próximas ao local do impacto e em regiões consideradas isentas de impactos localizadas em amostras saudáveis. O teste de Scott-Knott foi o utilizado para a análise estatística dos dados. As análises estatísticas realizadas constataram a capacidade da técnica do *biospeckle laser* em prever a ocorrência do *internal bruising* em batatas a partir de 2 horas após a ocorrência do impacto. A análise da comparação entre áreas demonstrou a capacidade de se prever a ocorrência das injúrias mesmo observando regiões fora da área exata do impacto. Por meio das técnicas gráficas foram gerados os mapas de atividades em diferentes estágios de desenvolvimento do dano, que ao contrário da abordagem numérica, não apresentou os resultados esperados.

Palavras-chave: *Internal bruising*. Impactos mecânicos. *Speckle*.

ABSTRACT

Food damages due to mechanical impacts at post harvest different phases are one of the biggest issues faced by food industry. In potatoes, productivity decrease due to impacts and physical damages can get to 40% during processing, storage, transportation and commercialization phases. Intern injuries, or bruising, are one of the biggest factors losses at potato production due to mechanical damages. Internal bruising is the surface damage darkening due to impact and it is a result of oxidation reactions associated to metabolic activities of some enzymes. There are techniques to measure and predict if an impact will be capable to generate an intern injury at potatoes, so that they are fundamental to define about adopt preventive control methods that can provide a loss production decrease and consequently product appreciation. The biospeckle laser technique is based in an interference optical phenomenon generated of a coherent light interaction with biological materials or dynamical systems. Digital treatment methods of the interference patterns can identify and quantify different activity levels in a tissue, such as tumors at animal cells or food damages. The biospeckle laser was adopted this work to predict bruising occurrence in non-visual moments of potato surface darkening due to controlled mechanical damages. Interference patterns were collected from an experimental configuration base on back-scattering and processed by numerical and graphical approaches. A pendulum was used as a device to create controlled impacts in potatoes samples. The activities in the regions next to local impacts, in the local damages and s well as in control samples without impacts were analyzed. Scott-Knott test was utilized to analyze data statistical and it was noted that capability of biospeckle laser technique to predict bruising in potato after 2 hours from impact occurrence. Comparison analysis between areas demonstrated the capacity to predict bruising occurrence even at regions out of the impact area. Techniques such as approaches graphical allowed creating maps of activities that unlike numerical approach, did not presented good results.

Keywords: Internal bruising. Mechanical Impacts. Speckle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Internal bruising</i> em batatas	24
Figura 2	Imagem da atividade da região imediatamente após impacto obtidos pelos métodos Diferenças Generalizadas (a) e Fujii (b) (Paluejo et al., 2003)	25
Figura 3	Comportamento físico do <i>Biospeckle</i>	29
Figura 4	Construção do THSP: A linha central é registrada em momentos sucessivos.....	31
Figura 5	THSPs e suas respectivas matrizes de co-ocorrência	33
Figura 6	THSP de um morango com alta atividade (a) e de um objeto sem atividade (b)	36
Figura 7	Pêndulo utilizado para produzir os impactos nas amostras.....	40
Figura 8	Configuração Experimental: (a)croqui , (b) set up real.....	41
Figura 9	Histograma gerado pelo ajuste experimental da iluminação de uma das amostras analisadas.....	48
Figura 10	Análise Fujii para batatas usadas como testemunha (a) e para as batatas desenvolvimento do dano interno (b). A área circulada mostra a região exata de ocorrência do impacto	65
Figura 11	Análise das diferenças generalizadas para batatas usadas como testemunha (a) e para as batatas desenvolvimento do dano interno (b). A área circulada mostra a região exata de ocorrência do impacto.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Escurecimento da região do dano. Escala: 0 (escuro total) – 100 (claro total).....	47
Gráfico 2	Comportamento médio dos valores de momento de inércia das amostras e regiões analisadas no experimento.....	49
Gráfico 3	Novo comportamento médio dos valores de momento de inércia do lote de batata saudável, usados como testemunhas.....	50
Gráfico 4	Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia– Região do dano x Região fora do dano	54
Gráfico 5	Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia – Região do dano x Testemunha	55
Gráfico 6	Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia – Região fora do dano x Região fora do dano.....	56
Gráfico 7	Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia – Amostras com danos x Testemunhas	58
Gráfico 8	Modelagem matemática do comportamento da atividade nas regiões de desenvolvimento do <i>internal bruising</i>	61
Gráfico 9	Modelagem matemática do comportamento da atividade fora das regiões de desenvolvimento do <i>internal bruising</i>	62
Gráfico 10	Modelagem matemática do comportamento da atividade em batatas que desenvolveram o <i>internal bruising</i>	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais estimativas de perda pós-colheita em batata realizados no Brasil.....	19
Tabela 2	Percentual de batatas com ausência e presença de danos superficiais e interno.....	45
Tabela 3	Relação de peso e firmeza das amostras analisadas	45
Tabela 4	Teste de médias para a variável momento de inércia das amostras utilizadas como testemunha nos períodos de análises	51
Tabela 5	Teste de médias para os valores de momento de inércia obtidos na região de desenvolvimento do dano durante o período de análise ...	52
Tabela 6	Teste de médias para os valores de momento de inércia obtidos na região fora do dano em batatas que sofreram impactos durante o período de análise	52
Tabela 7	Teste de médias para os valores de momento de inércia das batatas que sofreram impactos e desenvolveram injúrias internas durante o período de análise	59
Tabela 8	Teste de médias para os valores de momento de inércia das amostras utilizadas como testemunha nos períodos de análises	59
Tabela 9	Ajuste para a escala não linear do tempo de análise.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1	Perdas de alimentos na fase de pós-colheita.....	17
3.1.1	Aspectos gerais.....	17
3.1.2	Perdas por danos mecânicos.....	19
3.1.3	Caracterização das reações químicas causadas por danos mecânicos.....	22
3.1.4	O Intenal <i>Bruising</i> – esmagamento celular interno.....	23
3.2	O uso do laser no estudo de materiais biológicos.....	27
3.3	O <i>Biospeckle</i> Laser.....	28
3.4	Métodos de análise do <i>Biospeckle</i> Laser.....	30
3.4.1	História temporal dos padrões do speckle.....	30
3.4.2	Matrizes de co-ocorrência e o momento de inércia.....	31
3.4.3	Métodos de Fujii e das diferenças generalizadas.....	34
3.5	Análises em alimentos por meio do <i>Biospeckle</i> Laser.....	36
3.6	Análise em frequência do <i>biospeckle</i> laser.....	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1	Caracterização das amostras.....	38
4.2	Simulação dos impactos.....	39
4.3	Obtenção dos dados.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1	Caracterização das amostras.....	45
5.2	Análise dos histogramas gerados pela iluminação.....	47
5.3	Comportamento geral das amostras.....	48
5.4	Análise estatística e comparações das atividades nas diferentes regiões.....	50
5.5	Capacidade de predição do desenvolvimento do <i>bruising</i>	52
5.5	Análise sem distinção de áreas.....	56
5.6	Modelagem matemática do comportamento das batatas com danos.....	60
5.7	Mapas de intensidade – análise gráfica.....	64
6	CONCLUSÕES.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69
	ANEXOS.....	77

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) em 2009, a população mundial deve passar de 6,8 bilhões a 9,1 bilhões em 2050. Estima-se que até 25% da produção mundial de alimentos pode ser perdida em 2050 em razão do impacto conjunto das mudanças climáticas, da degradação do solo, da escassez de água e das pragas. Além do mais, o desperdício e a redução da qualidade dos produtos colhidos são aumentados durante a fase de pós-colheita em função de fatores como a colheita em estágio de maturação inadequado e poucos cuidados com o manuseio nas operações de embalagem, transporte e armazenagem. A perda de qualidade e conseqüente aumento no desperdício de produtos perecíveis, são acumulativos a cada incidente durante todo o processo de manuseio. Técnicas que possibilitem o aumento da produção e da produtividade agrícola, e que auxiliem a indústria no sentido de reduzir as perdas de alimentos, durante as etapas de produção, tornam-se fundamentais na dinâmica do mundo atual. A perda de alimentos está relacionada diretamente com a redução de disponibilidade de alimentos para consumo em razão da depreciação da qualidade dos produtos, pela deterioração, causada por fatores patológicos, fisiológicos ou mecânicos como impactos, cortes, rachaduras e compressões. Como exemplo de perdas por danos mecânicos pode-se citar a cultura da batata (*Solanum tuberosum*). A batata é uma das hortaliças de grande expressão econômica no Brasil, sendo depois do trigo, arroz e milho, a maior em produção. As perdas em decorrência dos impactos e dos danos físicos em batatas podem chegar até 40% na pós-colheita e ocorrem durante o manuseio dos tubérculos nas fases de seleção, embalagem, transporte e exposição para o consumo.

Dentre as lesões ocorridas em batatas em razão de impactos físicos, as injúrias provocadas pelo esmagamento celular interno que resultam em um

escurecimento na região do impacto são uma das principais responsáveis pela elevada porcentagem de perdas da cultura desde o campo até a mesa. Estes danos internos, também, são denominados pelo termo inglês *internal bruising* e são provocados por um impacto físico, como uma queda, colisão ou impactos durante a colheita e transporte. A região de ocorrência do impacto, mesmo sem nenhum dano aparentemente visível, desenvolve uma ruptura celular interna nos tecidos que, por sua vez, torna-se opaca e de coloração escura, acarretando a queda da qualidade nutricional e desvalorização do produto.

Técnicas que permitam a identificação e monitoramento de danos não visíveis, como o *internal bruising* em seu primeiro estágio e que gerem meios capazes de seleção dos tubérculos são fundamentais para minimizar perdas e reduzir custos da produção. A utilização de análise de imagens por meio de Tomografia de Ressonância Magnética, por exemplo, é uma das formas de avaliar o grau de deterioração e desenvolvimento de danos atualmente. Estudos relatam o uso de espectroscopia como uma ferramenta para determinação da estrutura de alimentos, sendo utilizada em pesquisas com sensores on-line para o monitoramento do processo de produção traçando um perfil do produto relacionado à sua mudança de qualidade. O uso de esferas instrumentadas, também, é um método bastante utilizado para a medição do estresse sofrido pelos alimentos durante os processos na pós-colheita. Os métodos citados têm como objetivo identificar e monitorar a ocorrência de injúrias nos produtos e buscam prever em tempo real se um impacto ocorrido em um dado instante poderá ou não acarretar na redução qualidade destes produtos, em função do escurecimento na região do dano. Esta informação é de suma importância para a indústria alimentícia, pois, uma vez que se tem informação sobre a tendência de um alimento em relação ao desenvolvimento do escurecimento, pode-se prevenir ou retardar a ação das enzimas responsáveis por este fato, reduzindo, assim, a chance de depreciação do produto. O armazenamento em atmosfera modificada,

o controle da temperatura e o uso de agentes químicos são os principais métodos utilizados para a prevenção deste escurecimento. Desta forma, técnicas que permitam uma análise preditiva eficiente sobre um impacto sofrido por um produto perecível tornam-se fundamentais no processo de pós-colheita, proporcionando uma redução no desperdício de produtos durante esta fase e o aumento da qualidade dos produtos que chegam até o consumidor. A técnica óptica conhecida como *biospeckle* laser, aparece como uma alternativa na análise do desenvolvimento de danos em alimentos por se tratar de um método não invasivo, não destrutivo, de grande precisão e que permite inferir sobre as alterações metabólicas em alimentos por diversos fatores, como a ocorrência de impactos mecânicos.

A Técnica *Biospeckle* laser, também conhecida como Speckle Dinâmico, baseia-se em um fenômeno óptico gerado a partir da interação de uma luz coerente, como a do laser, com materiais biológicos ou sistemas dinâmicos. O fenômeno óptico gerado é um padrão de interferência aparentemente aleatório, todavia relacionado diretamente com os espalhadores da luz presentes no material iluminado e este padrão se modifica com a mudança de posição dos espalhadores da luz presentes, por exemplo, no tecido vegetal. Por meio de métodos de tratamento digital dos padrões de interferência gerados pelos diversos processos biológicos é possível identificar e quantificar diferentes níveis de atividades em um tecido. O *biospeckle* vem sendo cada vez mais aplicado como um método de quantificação da atividade em materiais biológicos como sementes, fungos, sêmen animal e determinação de danos em frutos.

Além de técnicas de processamento de imagens e tratamento estatístico no domínio do tempo, os dados provenientes do *biospeckle* permitem uma análise no domínio da frequência. Desta forma é possível filtrar os sinais das histórias temporais do *biospeckle* e isolar em bandas de frequências fenômenos de padrões de interferências relacionados aos processos biológicos em monitoramento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a capacidade da técnica do *Biospeckle* Laser em prever a ocorrência do *internal bruising* em batatas após impactos mecânicos controlados, nos primeiros momentos de desenvolvimento do dano, onde não há manifestação aparente do escurecimento.

2.2 Objetivos específicos

- a) monitorar e identificar áreas de injúrias internas, perceptíveis ou não, em batatas comerciais;
- b) acompanhar, por meio do *Biospeckle* Laser, as alterações metabólicas provocadas por um impacto mecânico nas primeiras horas após o impacto provocado;
- c) descrever, por meio de modelos matemáticos, as alterações de atividade ocorridas durante o processo de desenvolvimento de injúrias internas (*internal bruising*);
- d) comparar as atividades ocorridas na região de impacto e em uma região próxima da área de injúria em diversos instantes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Perdas de alimentos na fase de pós-colheita

3.1.1 Aspectos gerais

Segundo um documento publicado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO (2009) no fórum denominado How to Feed the World 2050, realizado em setembro de 2009 na Itália, até 2050 haverá um terço a mais de pessoas para alimentar no mundo (2 bilhões e 300 milhões de pessoas) e a produção de alimentos terá que aumentar em 70%. O documento afirma:

É necessário produzir 70 por cento a mais de alimentos para 2,3 bilhões de pessoas que serão acrescentadas à população mundial até 2050, ao mesmo tempo em que se combate a fome e a pobreza, buscar-se usar de forma mais eficiente os escassos recursos naturais e adaptar-se às mudanças climáticas, serão os principais desafios da agricultura mundial nas próximas décadas (FAO, 2009, p. 2).

Algumas alternativas para a solução deste problema seriam o aumento na produção mundial de alimentos, acompanhado por uma distribuição justa da produção e a implantação de políticas que permitam a limitação do crescimento populacional. Essas alternativas, no entanto, são precedidas de altos investimentos financeiros, além de serem medidas de longo prazo. Uma das alternativas de curto prazo seria a redução nas perdas que ocorrem nas etapas da produção dos alimentos. A redução de perdas dos alimentos pode apresentar vantagens como o aumento da disponibilidade de alimentos, sem o aumento de áreas de cultivo e a redução da energia gasta para produção. Para que os alimentos possam chegar ao alcance de todas as pessoas é necessário não apenas

aumentar a produção global, mas também garantir que os alimentos sejam distribuídos de forma justa para toda a população mundial (MARTINS; FARIAS, 2002).

Capucho (2010) relata em pesquisa realizada em supermercados no estado de São Paulo que são gerados cerca de 6,5 toneladas de perdas mensalmente, o que equivale a cerca de 217 quilogramas de perdas diárias por supermercado. Os maiores responsáveis pelas perdas, em termos de massa, são os legumes juntamente com as batatas e cebolas com 51,5%. Em seguida estão as perdas das frutas, com 26,2% e dos folhosos com 22,2%. Em batatas as perdas representam um desafio para o setor produtivo, uma vez que os danos afetam o aceite do produto tanto pela indústria como pelo consumidor. Esta rejeição acarreta na redução do preço do produto e no descarte de parte da produção. Ferreira e Henrique Netto (2007) demonstram em seus estudos que as perdas decorrentes do ferimento físico, tais como cortes e injúrias, podem chegar até a 40% da produção bruta. A maior parte do custo dos danos representa prejuízos ao produtor na forma de preços mais baixos e restrição dos compradores. A Tabela 1 apresenta os dados das principais estimativas de perda pós-colheita em batata realizados no Brasil. O Estudo foi publicado pela Embrapa em 2004 por meio de uma circular técnica (HENZ; BRUNE, 2004).

Tabela 1 Principais estimativas de perda pós-colheita em batata realizadas no Brasil (HENZ; BRUNE, 2004)

Referência/Ano	Local	Perda (condição, etapa)
Sudene (1971)	Recife-PE	12,2% (atacado); 10% (feira)
Sudene (1972)	Natal-RN	6,8% (atacado); 12,4% (varejo)
Bleinroth (1979)	Brasil	30% (comercialização)
Schroeder et al. (1979)	Florianópolis-SC	50%-63% (comercialização)
Werner (1980)	Florianópolis-SC	0% (atacado); 3,9% (varejo)
Mukai & Kimura (1986)	Viçosa-MG	12,5% (suja); 21,4% (lavada)
Inst. Bras. Economia (1986)	Brasil	20% (comercialização)
Henz (1991)	Distrito Federal	3,7% (Especial); 20,1% (Diversos)
Fund. João Pinheiro (1992)	Minas Gerais	20% (seca); 28% (chuva)
Henz (1993a)	Distrito Federal	4,5%-13,9% (beneficiamento)
Henz (1993b)	Distrito Federal	0% (suja); 93% (lavada)
Silva (1994)	Distrito Federal	2,3% (arrancador); 9,6% (enxada)

3.1.2 Perdas por danos mecânicos

A identificação da origem dos fatores causadores de perdas de alimentos tem como objetivo auxiliar instituições de pesquisas e de extensão rural para que possam atuar de forma mais direcionada objetivando a redução dos índices de perda na cadeia de produção (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A dificuldade está em distinguir o alimento danificado do alimento perdido. A perda se refere ao desaparecimento do alimento que deve ser medido diretamente em termos econômicos, qualitativos e quantitativos. Já o termo dano reflete a deterioração aparente do alimento, não podendo ser medido subjetivamente, visto que a aceitação ou rejeição do alimento danificado é influenciada por fatores econômicos e culturais (VILAS BOAS, 2002). Métodos de avaliação e interpretação de perdas de diferentes produtos perecíveis são vistos em diversos estudos com a finalidade de monitorar a qualidade dos produtos e colaborar na tomada de medidas necessárias para se aumentar o tempo de consumo do alimento sem perder valores comerciais e nutricionais. Baritelle et al. (2000), por exemplo, descreve um sistema para classificar injúrias de batatas. Cada tipo

de dano é descrita, ilustrada, e relacionadas à condição de deterioração do tubérculo. Essas informações são utilizadas por produtores, processadores, operadores de armazenamento e empacotadores para tomar decisões sobre como ajustar fatores modificáveis tais como temperatura, nível de hidratação e velocidade de impacto para reduzir o impacto de defeitos relacionados com a colheita e manuseio de batatas. Outro exemplo é o estudo proposto por Qing, Ji e Zude (2008), onde a maturação de maçãs foi monitorada por meio do espalhamento da luz laser com o intuito de inferir sobre a qualidade dos frutos, quanto ao teor de sólidos solúveis e firmeza das polpas. Foram coletadas imagens de diferentes regiões do fruto iluminados por diferentes intensidades de luz. Assim, realizou-se uma análise espectral em diferentes bandas de frequências que permitiu avaliar em frequência os sólidos solúveis e firmeza da polpa de maçãs cultivadas sob diferentes condições ambientais propiciando informações úteis para o controle da qualidade das frutas na produção.

Em batatas, a conservação após a colheita dependerá em grande parte da maturidade fisiológica do tubérculo. A periderme do tubérculo imaturo é pouco resistente e as paredes celulares, são mais finas que em um tubérculo maduro. Isso pode aumentar a incidência de danos nos tubérculos colhidos imaturos (FERREIRA; HENRIQUE NETTO, 2007; FINGER; FONTES, 1999). Após a retirada dos tubérculos do campo, a quantidade total do produto é reduzida até chegar ao consumidor. Ocorrem perdas na própria colheita, no beneficiamento, no transporte, nos pontos de venda e, também, no consumo. Durante a secagem inicial em campo, já ocorre perda de peso. Em seguida, no beneficiamento, ocorre o descarte de solo aderido aos tubérculos, assim como o descarte da batata não-comercial, ou seja, tubérculos com defeitos graves detectados visualmente e eliminados manualmente. A lavagem dos tubérculos, apesar de ser prática predominante, é questionável, pois pode acentuar os seus defeitos e,

ainda, torná-los mais suscetíveis à deterioração, além de aumentar a porcentagem de descarte (FERREIRA; HENRIQUE NETTO, 2007). Henz e Brune (2004) relatam que as perdas pós-colheita para batata avaliadas em estudo em Brasília (DF) foram 10,3% para a batata não lavada e 93% para a batata lavada, constatando, portanto que o processo de lavagem aumenta a incidência de deterioração.

As alterações na batata durante o processo da colheita até o consumo são, principalmente, do tipo mecânica, fisiológica ou patológica. Os danos fisiológicos e patológicos se dão principalmente, na fase de produção, transporte e exposição, enquanto que os danos mecânicos ocorrem durante praticamente, em todas as etapas de manuseio dos tubérculos (colheita, seleção, embalagem, transporte e exposição) e são provocados em razão de impactos, compressão, vibração e cortes sendo relacionadas com alterações fisiológicas, metabólicas, de aroma, sabor e qualidade dos produtos tais como maçãs, pepinos, batatas e tomates (MORETTI; SARGENT, 2000). O dano mecânico pode ser ocasionado por uma pequena força, pressão, e por impacto em uma superfície dura (MOHSENIN, 1970).

A incidência e a severidade da desordem fisiológica dependem da energia e do número de impactos e do estágio de vida do alimento. Como são acumulativas, durante as práticas de manuseio pós-colheita, as várias etapas de manuseio do produto, desde o campo até o consumidor, devem ser cuidadosamente coordenadas e integradas para maximizar a qualidade do produto (ZEEBROECK et al., 2008). Em geral, danos por impacto na pós-colheita podem ocorrer quando os frutos recebem quedas altas ou colidem com superfícies não protegidas ou com outros frutos. A severidade dos danos causados por impactos em uma linha de classificação, por exemplo, pode ser reduzida diminuindo-se a altura de elevação de queda entre as etapas ou por meio da utilização de protetores, os quais podem dissipar a força de impacto. As lesões externas provocadas por impactos caracterizam-se pela descoloração da

superfície danificada, causada pelo aumento da pigmentação produzida, proporcionando o escurecimento na região do impacto (EXPIDO; BUENO; CANNEYT, 2005).

3.1.3 Caracterização das reações químicas causadas por danos mecânicos

Os estresses mecânicos causados pelo processamento dos alimentos aumentam a taxa de reações bioquímicas responsáveis pelas mudanças na cor, sabor, textura e qualidade nutricional dos produtos (ROCHA; COULON; MORAIS, 2003).

Um dos principais desafios ao processamento de batatas é a grande susceptibilidade dos tubérculos ao escurecimento, oriundo de reações catalisadas por enzimas, sendo as mais importantes as polifenoloxidasas (PPO). O escurecimento é iniciado pela oxidação de compostos fenólicos pela PPO. O produto inicial da oxidação é a quinona, que rapidamente se condensa, formando pigmentos escuros insolúveis, denominados melaninas, ou reage não enzimaticamente com outros compostos fenólicos, aminoácidos e proteínas, também formando a melanina (ESEAGHBEGYGI; BESHARATI, 2009).

Os fatores mais importantes na evolução da taxa do escurecimento enzimático provocado pela PPO são a concentração de PPO ativa e de compostos fenólicos, o pH, a temperatura e o oxigênio disponível no tecido. A enzima peroxidase (POD) também promove a oxidação de compostos fenólicos na presença de peróxido de hidrogênio (DUNDFORD; STILLMAN, 1976).

Vários métodos para prevenir o escurecimento enzimático podem ser aplicados em batatas. Porém, a eficácia dos tratamentos, combinados ou de forma isolada, deve ser verificada. A aplicação de atmosfera modificada ativa ou passiva com baixas concentrações de O₂ e altas concentrações de CO₂ contribuem para o controle do escurecimento e outros processos degradativos do

produto, uma vez que reduz a velocidade dos processos aeróbicos diminui a disponibilidade de O₂ para a atividade da PPO e da POD (FERNANDES et al., 2010; GUNES; LEE, 1997). Níveis reduzidos de O₂ reduzem a taxa respiratória de frutas e hortaliças frescas na proporção da concentração de O₂, o que se deve, provavelmente, à redução da atividade de oxidases, tais como polifenoloxidasas, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase com baixa afinidade com o O₂, em benefício da citocromo oxidase, que tem alta afinidade com o O₂ (KADER, 1986; PINELLI et al., 2005). Além da atmosfera modificada, o controle da temperatura, a utilização de agentes químicos, o uso da irradiação e modificações genéticas são metodologias aplicadas na prevenção do escurecimento enzimático e detalhadas por Silva, Rosa e Vilas Boas (2009) e por Fernandes et al. (2010) onde são realizadas revisões de literatura sobre o controle do escurecimento enzimático.

3.1.4 O Intenal *Bruising* – esmagamento celular interno

Os impactos físicos geradores de danos mecânicos associados com o amadurecimento irregular dos frutos conduzem ao desenvolvimento de desordens fisiológicas internas em alimentos. O fruto ou tubérculo, submetido a impactos, mesmo sem nenhum dano aparente, desenvolve ruptura celular interna nos tecidos, como apresentado na Figura 1. Esses tecidos, por sua vez, tornam-se opacos e colapsam, apresentando uma coloração amarelo – esverdeada. Esses danos são conhecidos como *internal bruising* (CHITARRA; CHITARRA, 2005).



Figura 1 *Internal bruising* em batatas

Em tubérculos, as injúrias internas são as grandes responsáveis pelas perdas, visto que os produtos devem possuir uma boa textura, cor, ausência de defeitos e estar em ponto de maturação adequado para que não ocorra a depreciação comercial do produto (MITSUHASHI-GONZALEZ et al., 2010; SILVA et al., 2008). A ocorrência do bruising leva à produção de melanina, resultando em um pigmento escuro na sub superfície do tubérculo. Este processo é iniciado quando um tubérculo sofre um impacto que causa ruptura das membranas celulares. As membranas danificadas permitem a oxidação enzimática de fenóis que irão provocar a produção da melanina, podendo chegar até a subsuperfície do tubérculo (FREITAS et al., 2005).

Diversos estudos aparecem com a finalidade de identificar a existência do *bruising* em alimentos, porém poucos estudos apontam no sentido de prever se um determinado impacto resultará na formação de um injúria interna. Blahovec, Mareš e Paprštejn (2004), procuram determinar por meio de diferentes ensaios dinâmicos a sensibilidade a impactos em pêras. Bentini, Caprara e Martinelli (2006) estudaram os efeitos dos impactos gerados no processo de colheita das batatas em relação aos danos produzidos. Os resultados demonstram a influência da velocidade de avanço da colhedora de batatas e da umidade do solo sobre a intensidade do impacto e os danos sofridos

pelos tubérculos. Colheitas realizadas no solo seco propiciaram impactos de maior intensidade e, conseqüentemente, maiores danos aos tubérculos. Pajuelo et al. (2003) utilizaram a técnica conhecida como do *biospeckle* para o estudo de danos em maçãs causado por impacto mecânico. Os resultados numéricos da evolução do *biospeckle* se mostraram consistentes e demonstraram variação na atividade em virtude das mudanças internas causadas por injúrias. No mesmo trabalho ainda foi realizada uma análise da imagem da atividade onde a região machucada pode ser identificada por meio de técnicas gráficas (Figura 2).

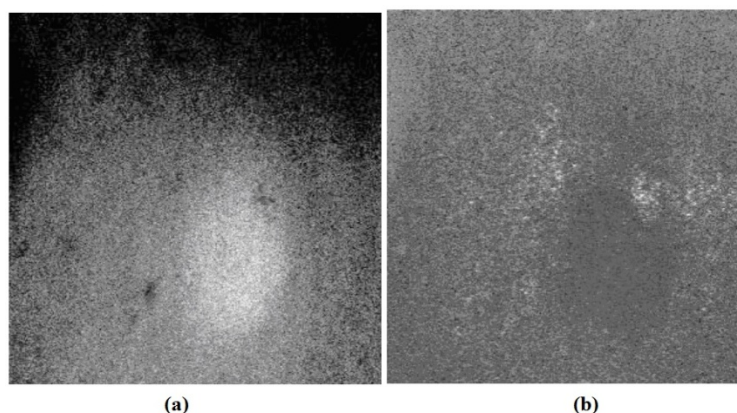


Figura 2 Imagem da atividade da região imediatamente após impacto obtidos pelos métodos Diferenças Generalizadas (a) e Fujii (b) (PAJUELO et al., 2003)

Uma vez que se é capaz de prever se um impacto mecânico poderá acarretar em um dano físico ao alimento, podem-se aplicar metodologias de prevenção do escurecimento, minimizando o efeito do impacto em um lote de um determinado produto. Atualmente a utilização de esferas instrumentadas nas etapas de colheita, beneficiamento e transporte, vem sendo uma das principais ferramentas para dimensionar a magnitude das forças e energias de impactos nessas etapas e relacioná-las com os danos provocados. Esferas instrumentadas são equipamentos constituídos de um registrador de aceleração que permite a

avaliação da magnitude de impactos (FERREIRA; HENRIQUE NETTO, 2007). Além de Bentini, Caprara e Martinelli (2006) que fez uso das esferas instrumentadas para promover estudos sobre os impactos provocados durante a fase de colheita da batata, pode-se citar, também, o trabalho realizado por Ferreira e Henrique Netto (2007) que, por meio das esferas, determinaram que os pontos críticos de impactos em uma linha de beneficiamento de batatas são obtidos na entrada do lavador e durante a etapa de ensaque do produto. O uso das esferas instrumentadas porém proporciona apenas uma dimensão de magnitude do impacto, sendo utilizadas principalmente como auxiliar para o dimensionamento de equipamentos relacionadas com as etapas de colheita e pós-colheita. A relação da intensidade do impacto em um dado instante e sua consequência futura para o produto, ainda, é pouco abordada estes trabalhos.

Outra técnica utilizada em estudos do comportamento físico químico dos alimentos é a espectroscopia infravermelho. Nos últimos anos, a espectroscopia no infravermelho se tornou ferramenta analítica que pode ser usada para estudar a vida de prateleira de alimentos, dado que a absorção nos intervalos espectrais pode ser relacionada com os principais componentes químicos dos alimentos, tais como proteínas, carboidratos, gorduras e água. Em particular, na região do infravermelho próximo (entre 750 e 2500 nm), a vibração e a combinação *overtone*s das bandas fundamentais, como O-H, C-H e N-H são os principais fenômenos (WILLIANS; NORRIS, 2001), enquanto que as medidas em bandas mais intermediárias fornecem informações sobre as frequências de ligações químicas em grupos funcionais (COATES, 2000). A espectroscopia se apresenta como um método rápido e de baixo custo para determinar a estrutura de alimentos e têm sido fundamental em pesquisas com sensores on-line para o monitoramento do processo de produção (NICOLAÏ et al., 2007; OZAKI; MCCLURE; CHRISTY, 2006). Todavia, poucos estudos têm abordado a

aplicação da espectroscopia em estudos de vida útil de frutas e hortaliças e injúrias de alimentos.

Como observado, atualmente, os métodos mais utilizados no estudo do controle de qualidade dos alimentos pouco relaciona os impactos e efeitos sofridos por alimentos durante as etapas de colheita e pós-colheita com as condições finais que estes produtos chegam ao consumidor. Pesquisas que permitam monitorar e prever o efeito de um impacto mecânico no desenvolvimento e surgimento de um dano, seja interno ou aparente, são importantes para minimizar perdas e reduzir custos na produção. Na agricultura, o uso da técnica conhecida como *biospeckle* laser ganha cada vez mais destaque e aplicações visto que esta técnica possibilita a quantificação da atividade em materiais biológicos (RABAL; BRAGA, 2008). Os conceitos e a aplicabilidade da técnica do *biospeckle* laser será discutida nos tópicos a seguir.

3.2 O uso do laser no estudo de materiais biológicos

Uma das áreas da aplicação das técnicas ópticas em estudos com materiais biológicos pode ser atribuída ao uso do laser e seus fenômenos. A palavra laser é uma sigla oriunda do termo inglês, *Light Amplification by the Stimulated Emission Radiation* (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação). O laser consiste de uma fonte de luz com características únicas como a quase-monocromaticidade e a coerência, que segundo Bagnato (2001), essas propriedades especiais tornam o laser um excelente instrumento de uso científico e tecnológico. A combinação da aplicação da luz de um laser com sistemas de aquisição e processamento digital de imagens se constituiu ao longo dos anos em uma importante ferramenta aplicada a diversos setores.

Nas ciências agrárias, muitas aplicações do laser já estão relatadas na literatura, em particular aquelas relacionadas ao seu uso para o monitoramento

da evolução ou da intensidade da atividade biológica. Neste caso específico, o monitoramento da mudança de posição dos elementos dispersores da luz de um laser no interior dos tecidos biológicos é conhecido como speckle laser dinâmico, ou *biospeckle*. Esse é um fenômeno que tem se apresentado como ferramenta muito sensível para o monitoramento de pequenas mudanças em material biológico e não biológico (RABAL; BRAGA, 2008).

3.3 O *Biospeckle* Laser

A técnica baseia-se em um fenômeno óptico de interferência que ocorre quando o feixe incide sobre uma superfície rugosa se comparada com o comprimento de onda de um feixe laser. De acordo com conceitos apresentados por Rabal e Braga (2008), esse fenômeno é bem conhecido em estudos de óptica e ocorre, quando o laser se dispersa sobre uma superfície e que exibe algum tipo de atividade. Se o objeto difusor se move os grãos individuais formados no padrão de speckle também se movem e alteram sua forma. Isso permite supor que os padrões de speckle dinâmicos contêm informações sobre o movimento do objeto. A Figura 3 representa um esboço esquemático do espalhamento aleatório de uma luz coerente, como o laser, em uma superfície despolida.

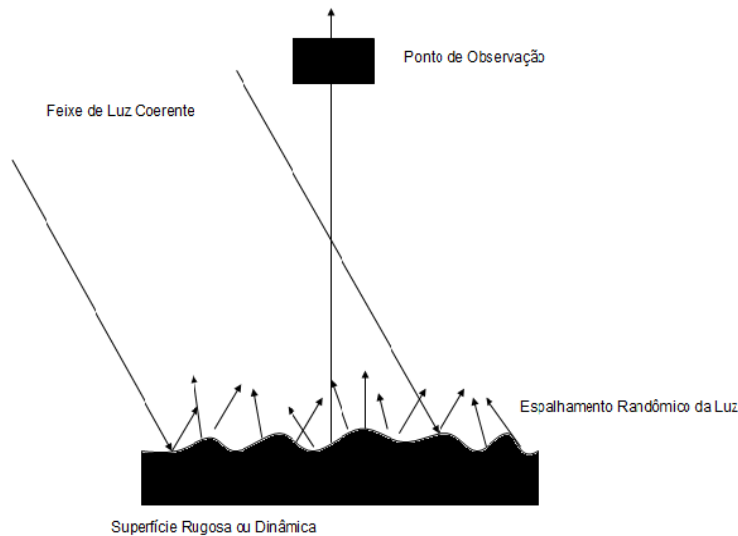


Figura 3 Comportamento físico do *Biospeckle*

Observado ao longo do tempo, o *biospeckle* propicia o monitoramento do ferverilhamento dos grãos que constituem o padrão de interferência. O ferverilhamento monitorado permite, desta forma, a correlação da atividade de um material com o grau de mudança do padrão de interferência que pode ser aplicado, por exemplo, na qualificação do sêmen animal (CARVALHO et al., 2009), na atividade de frutos durante seu amadurecimento (RABELO et al., 2005) e de *bruising* em frutos (PAJUELO et al., 2003). Outra aplicação do *biospeckle* pode ser na análise de sementes (BRAGA et al., 2003), ou em materiais não biológicos como no caso da evaporação de líquidos ou secagem de pinturas (AMALVY et al., 2001).

Por ser dinâmico, o *Biospeckle* deve ser analisado com técnicas de processamento de imagem e tratamento estatístico, uma vez que a observação visual permite apenas a identificação da existência do fenômeno, mas não permite quantificá-lo (RABAL et al., 1998).

3.4 Métodos de análise do *Biospeckle* Laser

3.4.1 História temporal dos padrões do speckle

Uma forma de se realizar o monitoramento das flutuações temporais do speckle consiste no acompanhamento de um ou um conjunto de pixels da imagem geradora do padrão de interferência no tempo. A análise da história temporal dos padrões de speckle foi proposta por Oulamara, Tribillon e Duvernoy (1989) e testado por Xu, Joenathan e Khorana (1995). De acordo com este método, um registro da história temporal é feito em imagem bidimensional denominada posteriormente de THSP (Time History Speckle Pattern). Essa imagem consiste na coleta de uma mesma fileira de pixels na imagem em instantes sucessivos montando uma imagem intermediária com a colocação destas linhas lado a lado. Em uma dimensão fica registrado um conjunto de pixels que correspondem à distribuição espacial do padrão e na outra dimensão a evolução temporal destes pixels ao longo de instantes sucessivos. A Figura 4 exibe de forma ilustrativa o processo de construção do THSP.

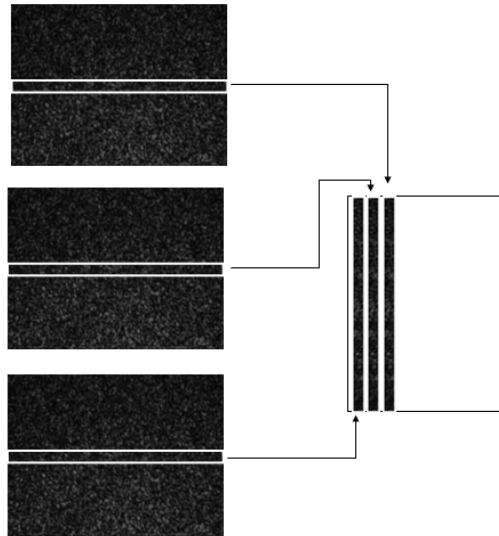


Figura 4 Construção do THSP: A linha central é registrada em momentos sucessivos

Na Figura 5 são apresentados dois THSPs construídos a partir de uma amostra com baixa atividade (a) e uma amostra com atividade alta (b). O padrão de baixa atividade apresenta pequenas variações, de modo que o nível de cinza de cada pixel varia muito pouco ao longo do tempo (eixo das abscissas). Por outro lado, no padrão de alta atividade percebem-se rápidas variações nas intensidades dos pixels ao longo do tempo. Assim a simples observação do THSP permite uma análise qualitativa da evolução temporal da superfície, porém, ainda faltando uma informação quantitativa.

3.4.2 Matrizes de co-ocorrência e o momento de inércia

O método das matrizes de co-ocorrência, desenvolvido por Arizaga et al. (1999), é baseado em uma técnica de mesmo nome largamente empregada na análise de texturas em processamento de imagens digitais (HARALICK;

SHANMUNGAN; DINSTEIN, 1973). A matriz de co-ocorrência é computada sobre o THSP, sendo definida pela equação 1:

$$MCO = [N_{ij}] \quad (1)$$

O valor de N_{ij} corresponde ao número de vezes que o valor de intensidade i é imediatamente seguido pelo valor de intensidade j na direção e sentido da evolução temporal passando por todas as linhas ou colunas referentes à dimensão espacial. A ordem da matriz quadrada relativa à MCO equivale ao número de tons de cinza de 8 bits. Quando a superfície é estática, isto é, o THSP praticamente não apresenta variações de intensidade ao longo do tempo, apenas a diagonal principal contém valores não nulos de ocorrências. Por outro lado, quando o THSP apresenta grande atividade, os elementos não nulos se espalham ao redor da diagonal principal. Assim, quanto mais ativa a amostra, mais dispersos em torno da diagonal se distribuem os pontos e vice-versa. A Figura 5 apresenta THSPs com as respectivas matrizes de co-ocorrência. A Figura 5(a) está associada a uma superfície com baixo grau de atividade, apresentando uma pequena variação de intensidade dos pixels ao longo do tempo e, conseqüentemente, uma menor dispersão em torno da diagonal principal. Por outro lado, a Figura 5(b) representa uma situação gerada a partir do espalhamento de luz por uma superfície mais nativa, o que gera alta variação na intensidade dos pixels, e, conseqüentemente, uma maior dispersão dos pontos ao redor da diagonal.

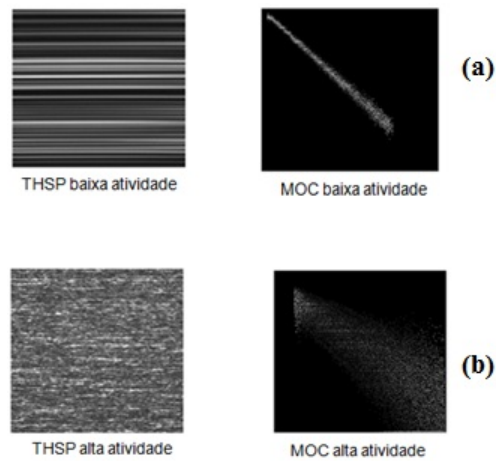


Figura 5 THSPs e suas respectivas matrizes de co-ocorrência
 Fonte: Rabelo (2000)

Para a quantificação das variações de intensidades do padrão do *biospeckle*, utiliza-se um momento de segunda ordem, denominado Momento de Inércia. A MOC original é modificada por meio do somatório do produto dos valores de ocorrências pelo quadrado da diferença entre as coordenadas, que representam as distâncias da diagonal principal, como é apresentado na Equação 2:

$$M_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_j N_{ij}} \quad (2)$$

A matriz MOC modificada corresponde a normalização daquela obtida com a soma dos elementos de cada linha sendo igual a 1.

A partir da matriz modificada, Arizaga et al. (1999), propôs quantificar a medida da dispersão dos pontos em torno da diagonal por meio do cálculo do Momento de Inércia da matriz, Equação 3:

$$MI = \sum_{ij} M_{ij} C - \rho^2 \quad (3)$$

A fórmula assumida pelo índice calculado tem analogia com o momento de inércia conhecido na Mecânica. Esse indicador também é análogo à função estrutura utilizada na espectroscopia de foto-correlação.

Em razão do fato do algoritmo proposto por Arizaga et al. (1999) ser de segunda ordem ocorre uma intensificação das diferenças mínimas e máximas. Baixas variações de intensidades do pixel resultarão em uma contribuição baixa no valor do M.I. , enquanto que grandes variações de intensidades terão altas contribuições no valor final do M.I.

3.4.3 Métodos de Fujii e das diferenças generalizadas

Entre os métodos de rotina para se analisar graficamente o *biospeckle*, podemos destacar a abordagem Fujii (FUJII; ASAKURA, 1985) e das Diferenças Generalizadas (ARIZAGA et al., 2002).

O método de Fujii baseia-se no cálculo da visibilidade (FUJII; ASAKURA, 1985) entre os pixels de imagens gravadas ao longo do tempo. O procedimento para a construção do método de Fujii é descrito pela Equação 4:

$$I(x,y) = \frac{\sum |I_k(x,y) - I_{k+1}(x,y)|}{|I_k(x,y) + I_{k+1}(x,y)|} \quad (4)$$

Em que, $I_k(x,y)$ é o valor de intensidade na posição (x,y) da imagem k .

A partir desta equação uma nova imagem é construída, e os pixels assumem no mapa final um valor próximo de zero na escala de tons de cinza em regiões onde não houve alterações de intensidade ao longo do tempo, e valores mais altos, próximos de 255, em zonas em que os pixels sofreram grandes alterações. Dessa maneira, nas zonas de grande atividade a imagem resultante apresenta pontos claros e naquelas áreas de baixa atividade os pixels apresentam pontos escuros, ou seja, o clareamento da imagem ocorre em áreas onde a diferença de intensidade dos pixels é menor.

O método de Diferenças Generalizadas é uma técnica derivada do método de Fujii sem o denominador que pondera a somatória das diferenças, e com uma recursividade nas diferenças.

De acordo com Arizaga et al. (2002), o que se faz, então, é realizar uma soma das diferenças de intensidade entre uma imagem e as suas subseqüentes. Como resultado, é obtido um clareamento dos pixels que apresentarem alterações nas intensidades. A imagem resultante pode ser expressa pela Equação 5:

$$I(x,y) = \sum_k \sum_l |I_k(x,y) - I_{k+1}(x,y)| \quad (5)$$

sendo k e l as imagens.

O somatório duplo demonstra a outra diferença do método de Fujii onde neste caso cada imagem é comparada com todas as outras, exigindo maior esforço computacional.

3.5 Análises em alimentos por meio do *Biospeckle* Laser

O uso da técnica do *biospeckle* no monitoramento e reconhecimento de padrões de atividades em alimentos é alvo de estudos por diversos autores. Além dos trabalhos sobre danos ocorridos por impactos mecânicos em maçãs desenvolvidos por Pajuelo et al. (2003), pode-se citar os estudos de Rabelo et al. (2005), onde se procurou avaliar as variações fisiológicas de laranjas, considerando as variações temporais do *biospeckle* de acordo com o tempo de pós-colheita. Os experimentos realizados evidenciaram que o *biospeckle* em laranjas varia de acordo com o ponto amostrado, varia entre cultivares e, também, de acordo com o período pós-colheita.

Outro trabalho relevante na área de pós-colheita de alimentos refere-se ao desenvolvido por Bergkvist (1997), onde se extraiu por meio do *biospeckle* informações sobre a maturidade do fruto. A Figura 6 ilustra a diferença dos padrões de THSP de um morango e um objeto sem atividade.

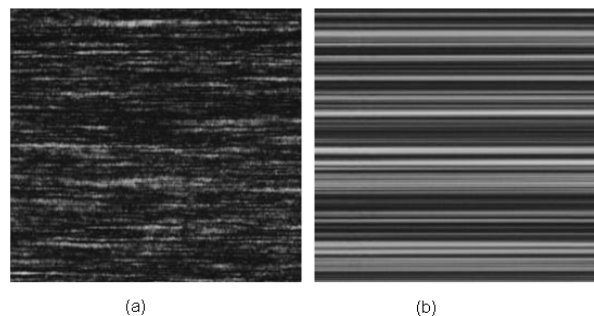


Figura 6 THSP de um morango com alta atividade (a) e de um objeto sem atividade (b)

Fonte: Bergkvist (1997)

3.6 Análise em frequência do *biospeckle* laser

Trabalhos como os de Cardoso et al. (2011), Nobre et al. (2009) e Passoni et al. (2005) apresentam uma série de aplicações da análise em frequência dos sinais provenientes das histórias temporais do *biospeckle* laser e, de forma específica, usando a transformada de *wavelets*. Sendra et al. (2005), também, analisaram os sinais do *biospeckle* no domínio da frequência por meio da aplicação de filtros digitais. Uma das vantagens da utilização da transformada de *wavelets* é a possibilidade de se obter informações que relacionam o tempo de ocorrência de um fenômeno com a frequência (TORRENCE; COMPO, 1998).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização das amostras

As amostras de batatas utilizadas no experimento foram obtidas na região do município de Maria da Fé, localizado ao sul do estado de Minas Gerais, sendo da cultivar *Monalisa*. A região em questão é uma das maiores produtoras de batata do estado. As batatas adquiridas não passaram pelo processo de lavagem comum nas linhas de beneficiamento e foram obtidas antes de entrar no varejo para comercialização, com o intuito de evitar os danos mecânicos ocorridos nestas etapas.

As amostras analisadas foram selecionadas em um universo correspondente a meia saca ou 25 quilos de batata em um total de 148 batatas. Cada batata correspondeu a uma amostra. Para assegurar a qualidade do universo das amostras antes da execução do experimento realizou-se uma análise de danos superficiais e internos onde se observou de forma visual a existência de danos superficiais e após serem cortadas foi observada a ocorrência de danos internos. Entenda-se por danos superficiais, injúrias com hematomas, rachaduras e cortes localizados na superfície ou sub-superfície da batata. Utilizaram-se 20% do total de amostras escolhidas de forma aleatória, como amostragem, para esta análise. Por fim, realizou-se por meio de um penetrômetro digital um teste de firmeza em outros 20% das amostras com o intuito de garantir a homogeneidade dessa característica no universo analisado.

Para execução efetiva do experimento foram escolhidas 20 amostras e 15 batatas foram submetidas a um impacto controlado antes da fase de iluminação enquanto as 5 outras amostras foram utilizadas como testemunha. Buscando uma padronização das amostras analisadas, optou-se por selecionar dentro do universo, batatas com tamanho entre 6 a 11 centímetros no sentido do

maior comprimento e com peso até 120 gramas. Em análises preliminares se observou a influência do tamanho das batatas nos resultados, sendo estes parâmetros considerados ideais para a realização deste experimento. Essas características permitiram o desenvolvimento adequado das injúrias internas a partir da energia gerada pelo simulador de impacto.

4.2 Simulação dos impactos

Os danos foram provocados a partir de um impacto gerado por um pêndulo, composto de uma haste de 60 cm posicionada inicialmente a 90° em relação à posição da amostra, e uma esfera localizada na extremidade do pêndulo, como é demonstrado na Figura 7. A esfera possuía um peso de 180g e raio de 1 cm e foi responsável pela promoção do impacto em um região de aproximadamente 4 cm² em cada amostra. O conjunto haste e esfera, constituído de um peso total de 705g, foi solto de sua posição inicial em queda livre gerando um impacto nas batatas de aproximadamente 1,00J de energia. Este valor de energia se aproxima dos valores obtidos por Blahovec, Mareš e Paprštejn (2004) em experimentos utilizando o pêndulo como ferramenta para a produção do impacto gerador de injúrias em alimentos.

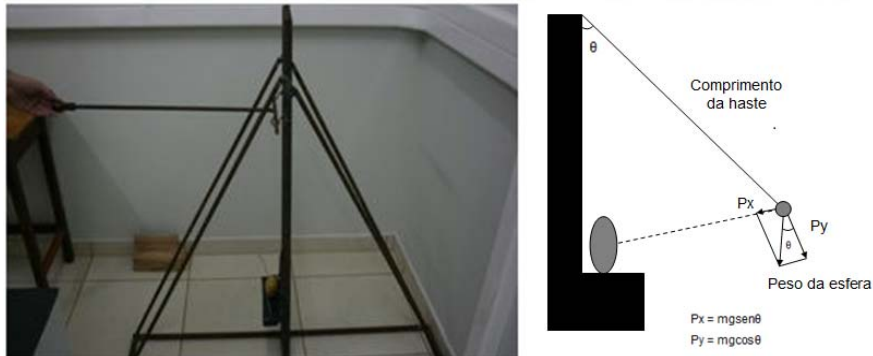


Figura 7 Pêndulo utilizado para produzir os impactos nas amostras

4.3 Obtenção dos dados

Uma vez provocados os impactos, foram coletadas imagens nas primeiras 6 horas em intervalos de 2 horas da região do dano e de regiões periféricas ao dano, localizadas entre 3-5 cm de distância da região exata do escurecimento. A análise neste período foi necessária para avaliar a capacidade da técnica em detectar, nos primeiros estágios de desenvolvimento, as alterações promovidas pelas atividades metabólicas na região do dano logo após um impacto e, assim, desenvolver um protocolo para prever se um determinado impacto resultará no escurecimento da região do dano ao longo do tempo. Também foram coletadas imagens nas 24 horas, 48 horas e 72 horas, subsequentes ao impacto gerador dos danos. Após 72 horas foi avaliada a região do dano para a constatação ou não do escurecimento gerado pelo *bruising*. Nos mesmos instantes foram coletadas imagens das testemunhas para referência e comparação de atividades de áreas sem dano, áreas com dano e áreas periféricas ao dano. A mesma análise foi repetida, porém, analisando toda a imagem gerada pelo *biospeckle*, sem distinção de regiões.

Para captura das imagens utilizou-se uma câmera CCD de 640 por 480 pixels. A luz coerente utilizada foi um laser de HeNe de 36 mW. Filtros e um

conjunto de lentes foram usados para a obtenção de uma iluminação de melhor qualidade e espalhada por uma maior área sobre a batata. A configuração experimental utilizada foi a denominada *back-scattering*, que observa o retorno da luz após incidir na amostra. Na Figura 8 demonstra-se a disposição da configuração experimental utilizada. As amostras foram colocadas em suportes fixos que permitiram uma variação mínima no ponto de iluminação, sendo coletadas, portanto, imagens da mesma região da batata em todos os instantes de análise.

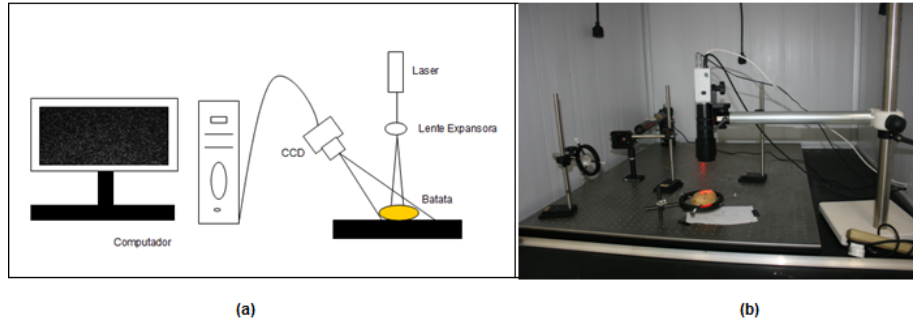


Figura 8 Configuração experimental: (a) croqui (b) set up real

Em cada sessão de iluminação foram coletadas 128 imagens em 8 bits relativas aos padrões de *biospeckle* em intervalos de 0,08s. As frequências analisadas estão limitadas pela taxa de amostragem conduzida nos trabalhos estando em um intervalo de 0 até 6,25 Hz. Para a análise da decomposição em frequência este intervalo foi dividido em 25 bandas durante a utilização da transformada de *wavelets*.

Os conjuntos de imagens foram processados gerando imagens de referência com a utilização dos métodos de Fujii e Diferenças Generalizadas (DG). A transformada de *wavelets* foi aplicada nos padrões de interferências permitindo uma filtragem e reconstrução das bandas de frequências. Assim, foi

avaliado a capacidade das técnicas gráficas em auxiliar no monitoramento e desenvolvimento de danos internos em batatas.

Análise pelo momento de inércia

A análise por meio do momento de inércia foi utilizada para a avaliação da atividade em regiões com e sem danos, durante o processo de desenvolvimento do *bruising* e em regiões saudáveis localizadas em amostras usadas como testemunhas. É comum no estudo da bioestatística, que comportamentos em materiais biológicos apresentem médias aritméticas aproximadas e, ao mesmo tempo, possuam valores que se distribuem de maneiras completamente diferentes em relação a ela (BASTOS; DUQUIA, 2007), como é o caso observado no do desenvolvimento de injurias internas em batatas. A normalização é uma técnica formal que examina os dados e os agrupa de forma que minimize o impacto dessas variações no funcionamento do sistema (CALDEIRA, 2003). Desta forma, como tratamento inicial aos dados obtidos foi utilizada uma normalização nos valores originais do momento de inércia com o intuito de minimizar o efeito da variância nos comportamentos dos valores obtidos de cada amostra. A normalização foi realizada de acordo com a equação 6:

$$VN = \frac{VR_n}{VR \text{ antes}} \quad (6)$$

em que VR_n é o valor real do momento de inércia em um dado instante, VR_{antes} o valor real do momento de inércia antes da ocorrência do impacto e VN é o valor correspondente normalizado.

Desta forma, monitorou-se a atividade ocorrida nestas áreas durante o período do experimento, obtendo as informações necessárias para avaliar a capacidade da técnica em fornecer padrões que indiquem se um determinado

impacto pode ou não gerar uma injúria interna na batata. Os resultados permitiram observar e comparar o comportamento distinto entre essas regiões.

Após a normalização, foi aplicado o teste de Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974) para um nível de significância de 5% com o objetivo de observar estatisticamente a diferença dos valores de momento de inércia entre regiões e ao longo do período de análise. O teste de Scott- Knott é indicado para análises univariadas, ou seja, quando se avalia apenas uma variável, que neste caso se refere ao momento de inércia. Além do mais, o teste de Scott- Knott não permite a ambiguidade entre tratamentos, o que normalmente dificulta a interpretação dos resultados (SILVA, 2007).

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo 8 tratamentos correspondentes aos intervalos para a aquisição de imagens, 15 repetições para as amostras que sofreram impactos e 5 repetições para as testemunhas usadas no experimento.

Descrição de modelos matemáticos

Foram utilizadas regressões polinomiais para o desenvolvimento de modelos matemáticos com o objetivo de descrever numericamente o comportamento da atividade durante o desenvolvimento do dano, tanto na região do dano, quanto em regiões periféricas a ele.

Análise complementar

Por fim, foi realizada uma análise das batatas com o equipamento conhecido como colorímetro, que permitiu acompanhar a variação de intensidade de cor na região onde foi provocado o impacto nos instantes de iluminação. Para esta análise provocou-se um impacto de dimensão semelhante ao promovido na análise do *biospeckle* em 40 amostras. A cada intervalo de iluminação, 5 amostras foram selecionadas aleatoriamente dentre as 40 amostras

iniciais, e imediatamente cortadas na região do dano para a realização da leitura. O colorímetro utiliza uma escala de 0 a 100 para as variações de cinza, segundo o sistema preconizado pelo CIE (*Comissão Internationale de l'Eclairaige*), em que 0 é considerado totalmente escuro e 100 considerado totalmente claro, permitindo um acompanhamento do escurecimento da região de impacto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das amostras

Por meio de lotes de amostragens procurou-se caracterizar o estado de qualidade das amostras antes do experimento. A Tabela 2 demonstra as quantidades em percentual de batatas com dano e sem dano antes da promoção do impacto e análise do *biospeckle*. Danos superficiais e internos podem estar presentes na mesma amostra. Os resultados obtidos para o universo amostral do experimento estão de acordo com os apresentados por Ferreira e Henrique Netto (2007) e Jobling (2000), onde é mencionado que as perdas em decorrência de ferimentos mecânicos podem chegar até 40% da produção.

Tabela 2 Percentual de batatas com ausência e presença de danos superficiais e interno. Foram utilizadas 30 batatas para a amostragem.

Ausência de Danos	Presença de Danos Superficiais (injúrias, rachaduras e cortes)	Presença de Danos Internos (<i>bruising</i> e oxidações provocadas por cortes e rachaduras)
63,33%	36,67%	6,67 %

Os valores em relação ao peso e à firmeza ou resistência a pressão no universo de amostras são apresentados na Tabela 3. Os resultados foram utilizados para padronização das amostras usadas durante o experimento.

Tabela 3 Relação de peso e firmeza das amostras analisadas

	Resistência à Pressão (Kgf)	Peso (g)
Varição no Lote de Amostragem (10% do número total de amostras)	4,00 – 4,75	70 - 135
Média no Lote de Amostragem (10% do número total de amostras)	4,33	108,55

Ainda como parte da caracterização da amostra, 72 horas após ocorrência dos impactos, todas as amostras utilizadas no experimento apresentaram o *internal bruising* em estágio desenvolvido em sua polpa interna. O fato comprova a eficiência da metodologia utilizada para a produção dos danos, visto que a energia de impacto produzida foi capaz de provocar danos internos em batatas cujo peso e a resistência à pressão estejam dentro dos limites apresentados na Tabela 3.

No Gráfico 1 são apresentados os resultados obtidos por meio da análise com o Colorímetro, onde foi possível observar a variação do escurecimento na região de impacto. Observou-se que, logo após o impacto, a região do dano sofre um clareamento até o instante de 2 horas. O clareamento pode estar atribuído à oxidação ocorrida decorrente do rompimento das membranas durante o impacto (FERNANDES et al., 2010; JOBLING, 2000). A partir de 4 horas após o impacto, registrou-se o escurecimento na região do dano, provocado pela produção de melanina resultante das reações enzimáticas em função do contato direto com o oxigênio. O aumento do escurecimento na região do dano foi percebido até a análise realizada 72 horas, após o impacto, sendo que de 24h - 48horas observou-se o maior aumento na incidência do escurecimento.

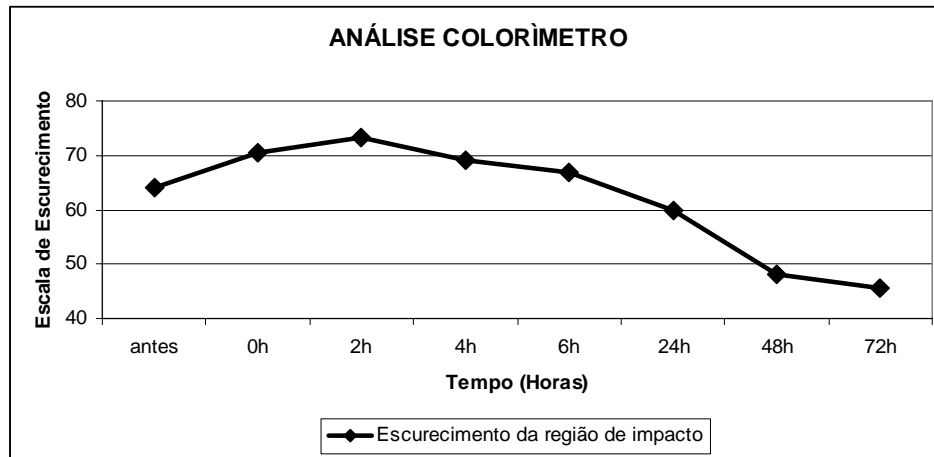


Gráfico 1 Escurecimento da região do dano. Escala: 0 (escuro total) – 100 (claro total)

5.2 Análise dos histogramas gerados pela iluminação

O histograma de uma imagem digital com níveis de cinzas no intervalo [0, 255] fornece uma descrição global da aparência de uma imagem (GONZALEZ; WOODS, 2008) e garante a qualidade da imagem a ser analisada. Os histogramas das imagens provenientes do *biospeckle* de todas as amostras analisadas foram verificados antes do início do processo de iluminação com o intuito de ajustar, da melhor forma possível, a configuração experimental. O objetivo do ajuste foi evitar perdas por escurecimento ou por saturação (abaixo de 0 e acima de 255 na escala de cinza, respectivamente). Todas as imagens utilizadas no experimento apresentaram histogramas (em ANEXO) que revelam boa qualidade para a aplicação dos métodos de análises do *biospeckle* como o apresentado na Figura 9.

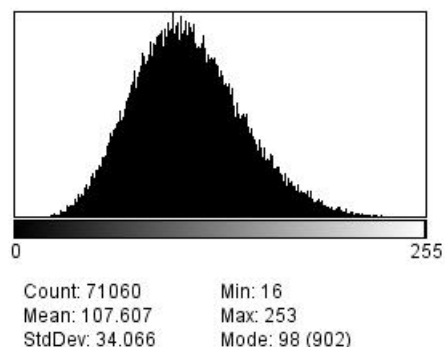


Figura 9 Histograma gerado pelo ajuste experimental da iluminação de uma das amostras analisadas

5.3 Comportamento geral das amostras

O Gráfico 2 apresenta o comportamento médio das testemunhas (amostras saudáveis que não sofreram impactos) e das amostras que foram submetidas a um impacto. O comportamento médio foi obtido pelo cálculo das médias dos valores de momento de inércia das amostras nos períodos de análise. O comportamento da região exata do dano, local do escurecimento enzimático, e o comportamento das regiões fora da área de desenvolvimento do dano foram analisados individualmente. Observou-se que as amostras que sofreram impactos tiveram um comportamento com queda ao longo do tempo, enquanto que o comportamento das testemunhas se manteve em uma faixa constante de atuação do ponto de vista da atividade medida pelo biospeckle. O pico de atividade na região do dano, imediatamente após o impacto (0 h), é explicado pela intensa entrada de oxigênio ocorrida em virtude da quebra das membranas celulares na região (FERNANDES et al., 2010; JOBLING, 2000). Entre 2h e 24h o que ocorre, então, é a ação das reações provocadas pelo contato do oxigênio combinado com o aumento do metabolismo das enzimas peroxidase e polifenolxidase que são responsáveis pelo escurecimento da região. Este

escurecimento provocado pelas enzimas é a resposta às injúrias físicas sofridas que resultam na oxidação da região do dano (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009; VILAS BOAS, 2002). A queda de atividade após 24 horas do impacto pode ser justificada pela redução no metabolismo das enzimas e pela oxidação avançada na região de impacto, o que leva a região a ficar opaca (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

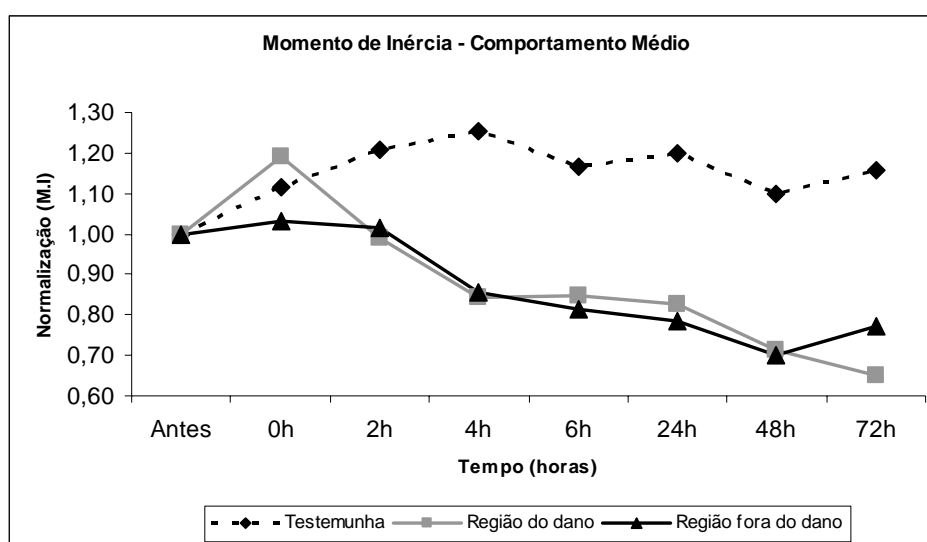


Gráfico 2 Comportamento médio dos valores de momento de inércia das amostras e regiões analisadas no experimento

Por apresentar um comportamento destoado das demais e influenciar de forma significativa no comportamento médio das batatas saudáveis, optou-se por eliminar a curva de atividade do momento de inércia de uma das amostras utilizadas como testemunha. A justificativa da exclusão se baseia no fato de que a amostra foi escolhida de forma aleatória, e, portanto, pode estar inserida dentro da margem de 40% da produção que terminam os processos de pós-colheita com algum tipo de ferimentos físicos, internos ou aparentes (FERREIRA; HENRIQUE NETTO, 2005; JOBLING, 2000). No Gráfico 3 é demonstrado o

novo comportamento médio das testemunhas após exclusão da amostra destoante. As análises estatísticas subsequentes foram baseadas neste comportamento médio para os três casos analisados (testemunhas, região do dano e região fora do dano).

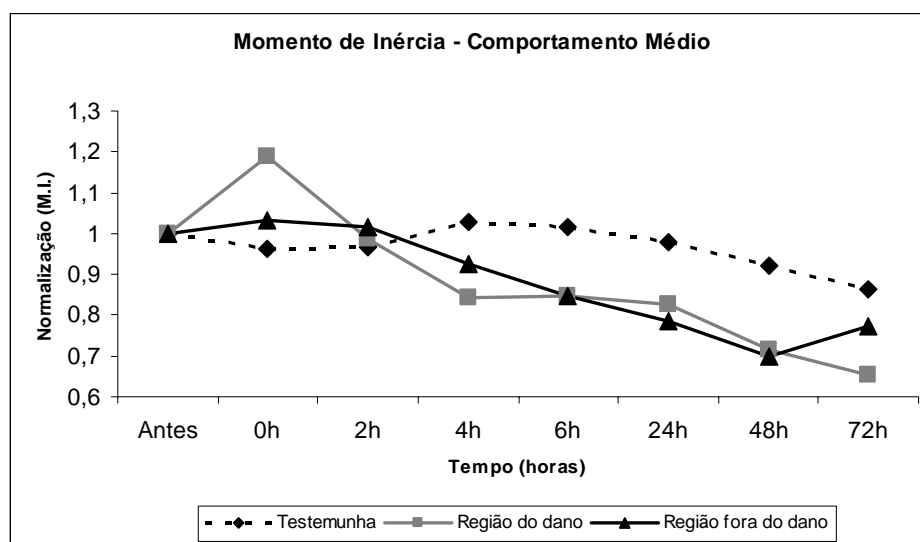


Gráfico 3 Novo comportamento médio dos valores de momento de inércia do lote de batata saudável, usados como testemunhas

5.4 Análise estatística e comparações das atividades nas diferentes regiões

A Tabela 4 apresenta os resultados para o comportamento das testemunhas ao longo do período de realização do experimento. Observa-se que os valores de momento de inércia não se diferem nos instantes de análise, fato que comprova o comportamento constante das atividades na região analisada das testemunhas ao longo de todo experimento, sendo este lote considerado ideal para a utilização como referência de batatas saudáveis.

Tabela 4 Teste de médias para a variável momento de inércia das amostras utilizadas como testemunha nos períodos de análises

Testemunhas – Teste Scott-knott (1974)		
Tempo Após o Impacto	*Médias	(erro padrão)
72h	0.897500 a	(0,60)
48h	0.940000 a	(0,60)
0h	0.960000 a	(0,60)
2h	0.967500 a	(0,60)
24h	0.980000 a	(0,60)
Antes	1.000000 a	(0,60)
6h	1.012500 a	(0,60)
4h	1.027500 a	(0,60)

* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Os testes realizados para as amostras que sofreram impactos demonstraram diferenças nos instantes de análise tanto para a região do dano (TABELA 5) quanto para a região fora do dano (TABELA 6). Os resultados confirmam a tendência de queda de atividade nas batatas que sofreram impactos diferindo de batatas saudáveis, que não sofreram impactos. É observado, ainda, que os valores obtidos antes do impacto (considerando a ausência de dano nas batatas) e os valores obtidos após 2 horas do impacto se diferem estatisticamente, quando analisada a região específica do dano. Este fato é um indício de que após 2 horas de um impacto sofrido seja possível diferenciar uma batata com predisposição ao desenvolvimento de injúrias internas de batatas saudáveis. A diferença entre comportamento das médias também pode ser observada para as análises fora do dano. Esta informação se torna importante, visto que ela permite levantar a hipótese de que é possível verificar se uma batata tem tendência a desenvolver injúrias internas após as etapas relacionadas à pós-colheita (lavagem, transporte, armazenamento, ensaque) sem ter a necessidade de analisar exatamente a região em que o impacto ocorreu, fato que limitaria a aplicação da técnica.

Tabela 5 Teste de médias para os valores de momento de inércia obtidos na região de desenvolvimento do dano durante o período de análise

Região do dano – Teste Scott-knott (1974)		
Tempo Após o Impacto	*Médias	(erro padrão)
72h	0.652000 a	(0,040)
48h	0.714667 a	(0,040)
24h	0.826667 b	(0,040)
4h	0.844667 b	(0,040)
6h	0.848667 b	(0,040)
2h	0.988000 c	(0,040)
Antes	1.000000 c	(0,040)
0h	1.188667 d	(0,040)

* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Tabela 6 Teste de médias para os valores de momento de inércia obtidos na região fora do dano em batatas que sofreram impactos durante o período de análise

Região fora do dano – Teste Scott-knott (1974)		
Tempo Após o Impacto	*Médias	(erro padrão)
48h	0.700000 a	(0,075)
72h	0.774667 a	(0,075)
24h	0.783333 a	(0,075)
6h	0.826667 a	(0,075)
4h	0.856667 a	(0,075)
Antes	1.000000 b	(0,075)
2h	1.013333 b	(0,075)
0h	1.032000 b	(0,075)

* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

5.5 Capacidade de predição do desenvolvimento do *bruising*

A partir dos resultados obtidos pelos testes estatísticos foi realizada uma comparação do comportamento das regiões e amostras com danos e testemunha. Desta forma, obtivemos os instantes em que batatas com dano se diferenciam de

batatas saudáveis. Uma vez verificado o instante de diferenciação entre batatas saudáveis e batatas que, por terem sofrido algum impacto durante as etapas de pós-colheita, possuem a tendência de desenvolver injúrias internas, foi possível prever, logo nos primeiros estágios de desenvolvimento do dano, se o impacto sofrido acarretaria no escurecimento enzimático da região e formação de uma injúria interna no produto. A partir desta informação medidas de controle de qualidade mais eficientes poderão ser tomadas e a porcentagem de perdas de produto poderá ser reduzida, já que métodos mais rigorosos de seleção e controle acarretarão em um maior cuidado no manuseio dos produtos durante as etapas de beneficiamento.

A comparação entre a região do dano e a região fora do dano das amostras as quais foram submetidas a um impacto é apresentada no Gráfico 4. Os resultados indicam mais uma vez que, mesmo sem analisar diretamente a região exata de desenvolvimento do dano, é possível identificar e monitorar os efeitos causados pelo impacto nas batatas. A hipótese levantada é que os processos metabólicos envolvidos no desenvolvimento do dano e escurecimento enzimático provocam um efeito sistêmico na batata como é observado em plantas ao se introduzir elementos externos fazendo-se aumentar a resistência de forma sistêmica de culturas contra doenças e praga (TEIXEIRA et al., 2005). Esta é uma informação importante, uma vez que ao se analisar uma batata não se sabe a priori onde ocorreu o dano.

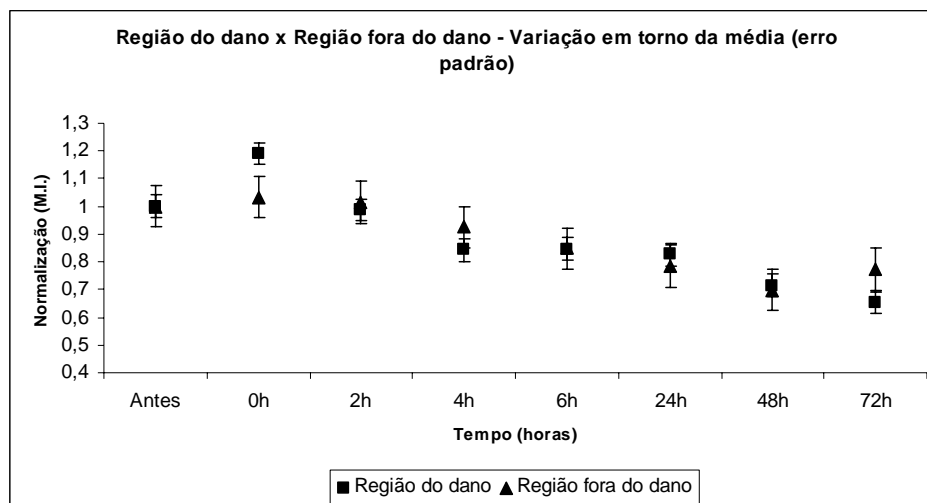


Gráfico 4 Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia- Região do dano x Região fora do dano

No Gráfico 5 é apresentada a comparação dos valores nos instantes de análise da região exata do dano e uma região saudável localizada na testemunha. Observa-se que a partir das 4hs é possível diferenciar as batatas saudáveis de uma batata que sofreu um impacto. Conclui-se, assim, que, ao se analisar diretamente a região onde foi produzido um impacto, é possível prever se o impacto ocorrido acarretará em uma injúria interna na batata, após 4 horas.

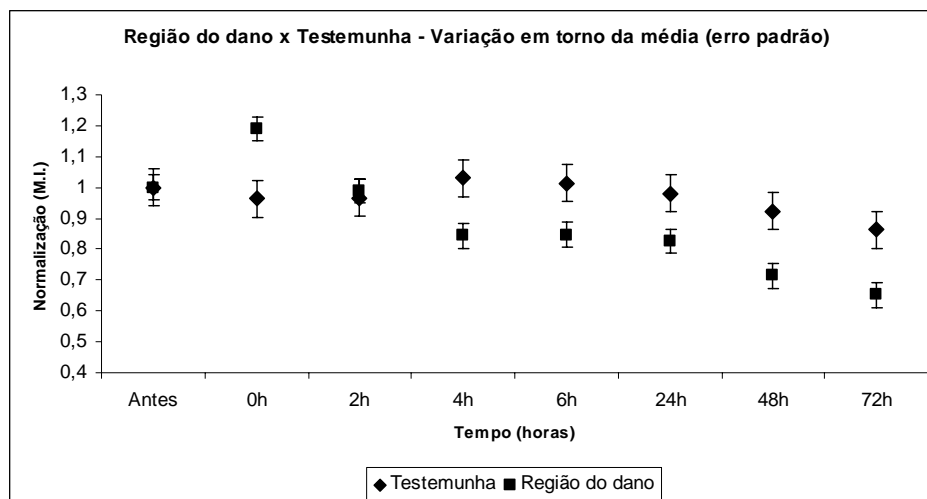


Gráfico 5 Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia – Região do dano x Testemunha

Ao se comparar uma região fora do dano de uma batata com a região de uma batata saudável (Gráfico 6) foi possível diferenciá-las a partir de 6hs. Assim, a predição em áreas fora da região exata do desenvolvimento do dano poderá ocorrer a 6 horas após o impacto. O atraso para se diferenciar as áreas periféricas ao dano de áreas saudáveis, pode ser explicado pelo fato da ação do impacto ocorrer de forma menos intensa nessas regiões. Isto acontece por não ter ocorrido às quebras de membranas que possibilitaram a entrada de oxigênio como na região exata do impacto.

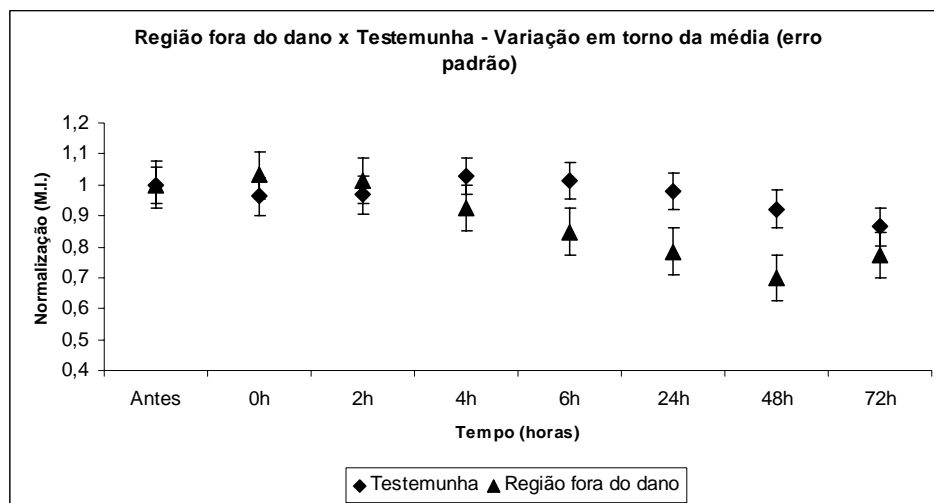


Gráfico 6 Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia – Região fora do dano x Região fora do dano

5.5 Análise sem distinção de áreas

As análises realizadas em pontos distintos de batatas que sofreram um impacto permitiram observar que é possível diferenciar batatas saudáveis de batatas que tendem a desenvolver danos internos e, assim, prever se um impacto acarretará na formação do *internal bruising* poucas horas após o ocorrido, mesmo que o ponto analisado não seja exatamente o ponto de desenvolvimento do escurecimento interno. Apesar de possível, é observado que as atividades metabólicas nas regiões fora da área de desenvolvimento do dano demoram mais a se diferenciar de regiões saudáveis. Essa defasagem de comportamento pode se tornar um fator limitante para a análise por áreas dificultando a utilização da técnica em termos práticos. Observa-se, ainda, que se torna difícil em uma unidade de beneficiamento de batatas, por exemplo, diferenciar os pontos exatos de ocorrência do impacto, já que o *internal bruising* se desenvolve de forma interna.

Com objetivo de minimizar a diferença de comportamento das regiões dentro e fora do dano em uma mesma amostra e viabilizar a análise proposta neste trabalho em termos práticos, facilitando sua aplicação tanto no meio científico quanto na indústria, foi realizada uma análise comparando as batatas com danos e as batatas saudáveis, porém, desta vez, sem distinção de áreas. Os resultados apresentados no Gráfico 7 demonstram que a partir de 2 horas é possível diferenciar as amostras que sofreram o impacto e que tendem a desenvolver o *internal bruising*. Assim, conclui-se que a predição do desenvolvimento do *internal bruising* em batatas pelo *biospeckle* pode ser obtida a partir de 2 horas após a ocorrência do impacto, de forma direta, sem necessidade de se diferenciar regiões que sofreram impactos, das regiões que sofreram apenas os efeitos sistêmicos. A hipótese que justifica a redução no tempo de predição ao se analisar o comportamento do *biospeckle* sem distinção de área é observada em Braga Júnior et al. (2007). O estudo mostra que ao se analisar a linha temporal do padrão do *speckle* (THSP) em intervalos ocorrerá perdas de informações, mesmo que mínimas, referentes à atividade do material analisado.

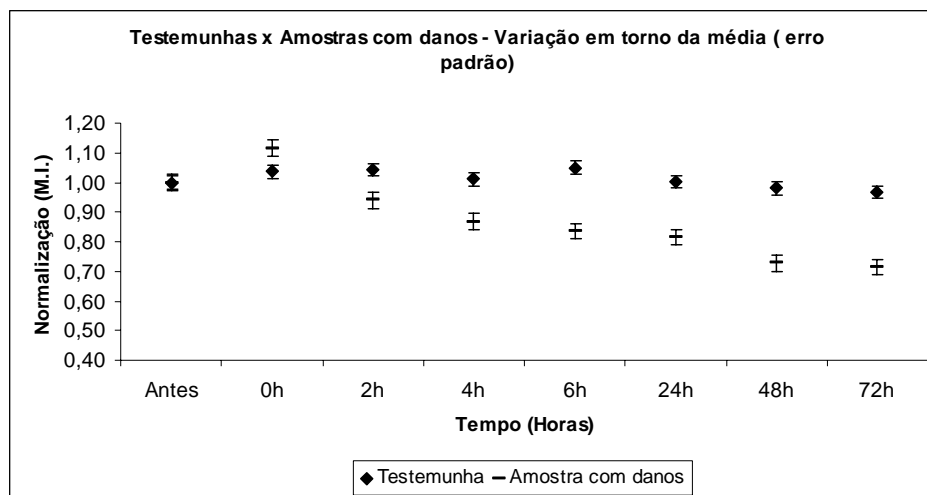


Gráfico 7 Variação do erro padrão das médias dos valores de momento de inércia – Amostras com danos x Testemunhas

Na Tabela 7 e Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos pelo teste de Scott-Knott para a análise da diferença entre os instantes de leitura para as batatas saudáveis, utilizadas como testemunhas, e as batatas que apresentaram *internal bruising* ao final de 72 horas.

Tabela 7 Teste de médias para os valores de momento de inércia das batatas que sofreram impactos e desenvolveram injúrias internas durante o período de análise

Amostras com danos – Teste Scott-Knott (1974)		
Tratamentos	*Médias	(erro padrão)
72h	0.714000 a	(0,027)
48h	0.728000 a	(0,027)
24h	0.816000 b	(0,027)
6h	0.836000 b	(0,027)
4h	0.869333 b	(0,027)
2h	0.940667 c	(0,027)
Antes	1.000000 c	(0,027)
0h	1.116000 d	(0,027)

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Tabela 8 Teste de médias para os valores de momento de inércia das amostras utilizadas como testemunha nos períodos de análises

Testemunhas – Teste Scott-Knott (1974)		
Tratamentos	*Médias	(erro padrão)
72h	0.967500 a	(0,022)
48h	0.980000 a	(0,022)
Antes	1.000000 a	(0,022)
24h	1.002500 a	(0,022)
4h	1.010000 a	(0,022)
0h	1.035000 a	(0,022)
2h	1.042500 a	(0,022)
6h	1.050000 a	(0,022)

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

5.6 Modelagem matemática do comportamento das batatas com danos

A modelagem matemática de fenômenos biológicos permite descrever numericamente comportamentos diversos e são representações de sistemas em termos ideais (BARBOSA, 2009), sendo uma ferramenta fundamental para a simulação de processos, previsão e calibração de valores (ALMEIDA; SILVA, 2010). Uma vez que se trabalha com os dados normalizados, a modelagem se torna importante para garantir parâmetros que permitam a repetibilidade dos resultados. Assim, foram desenvolvidos modelos matemáticos para descrição do comportamento das atividades ocorridas nas regiões analisadas ao longo do experimento.

O Gráfico 8 apresenta a aproximação de uma curva de quarta ordem para o comportamento das atividades metabólicas na região do dano. O ajuste sugerido comparado à distribuição dos valores de momento de inércia ao longo do período de análise de todas as amostras apresentou um $R^2 = 0,82$, sendo considerado satisfatório para a representação do comportamento da região. A equação sugerida que descreve o comportamento médio da região é dada pela equação 7:

$$y = - 0,0032x^4 + 0,0611x^3 - 0,3918x^2 + 0,908x + 0,4443 \quad (7)$$

sendo y o valor do momento de inércia normalizado. A normalização foi realizada considerando o valor da atividade da batata no instante sem o impacto. A variável x representa o valor correspondente ao instante de análise, conforme a Tabela 9.

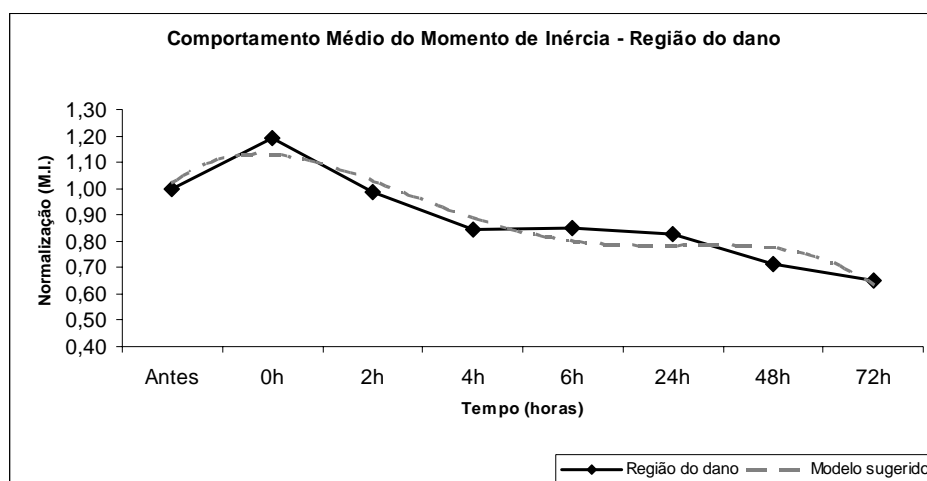


Gráfico 8 Modelagem matemática do comportamento da atividade nas regiões de desenvolvimento do *internal bruising*

No Gráfico 9, é demonstrada a aproximação de uma curva de terceira ordem para o comportamento das atividades ocorridas nas regiões fora da região de escurecimento enzimático, que sofrem o efeito sistêmico das atividades metabólicas ocorridas na região do dano na região do dano. O ajuste sugerido comparado à distribuição dos valores de momento de inércia ao longo do período de análise de todas as amostras apresentou um $R^2 = 0,78$, sendo considerado satisfatório para a representação do comportamento da região. A equação sugerida que descreve o comportamento médio da região é dada pela equação 8:

$$y = 0,0046x^3 - 0,0596x^2 + 0,1672x + 0,894 \quad (8)$$

sendo y o valor do momento de inércia normalizado. A normalização foi realizada considerando o valor da atividade da batata no instante sem o impacto. A variável x representa o valor correspondente ao instante de análise, conforme a Tabela 9.

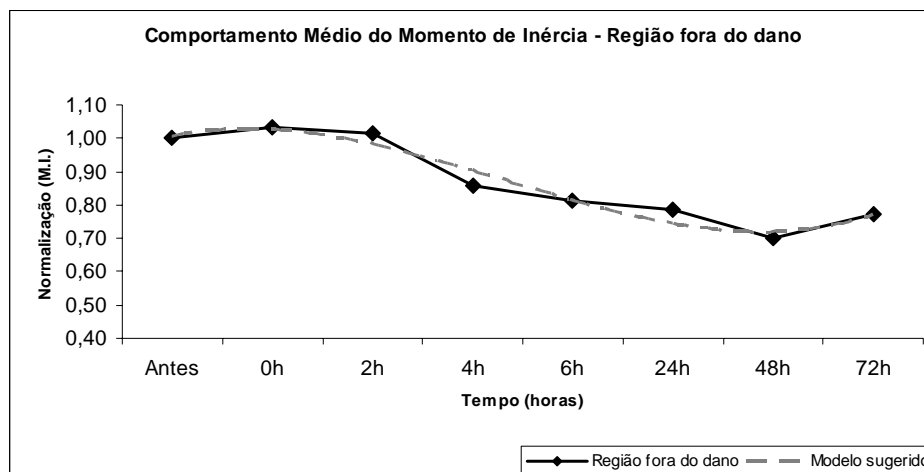


Gráfico 9 Modelagem matemática do comportamento da atividade fora das regiões de desenvolvimento do *internal bruising*

Por fim, no Gráfico 10, é apresentada a aproximação de uma curva de terceira ordem para o comportamento geral da atividade da batata com dano, sem distinção de áreas. O ajuste sugerido comparado à distribuição dos valores de momento de inércia, ao longo do período de análise de todas as amostras, apresentou um $R^2 = 0,87$, sendo considerado satisfatório para a representação do comportamento da região. A equação sugerida que descreve o comportamento médio da região é dada pela equação 9:

$$y = -0,0018x^4 + 0,0347x^3 - 0,2261x^2 + 0,5121x + 0,696 \quad (9)$$

sendo y o valor do momento de inércia normalizado. A normalização foi realizada considerando o valor da atividade da batata no instante sem o impacto. A variável x representa o valor correspondente ao instante de análise, conforme a Tabela 9.

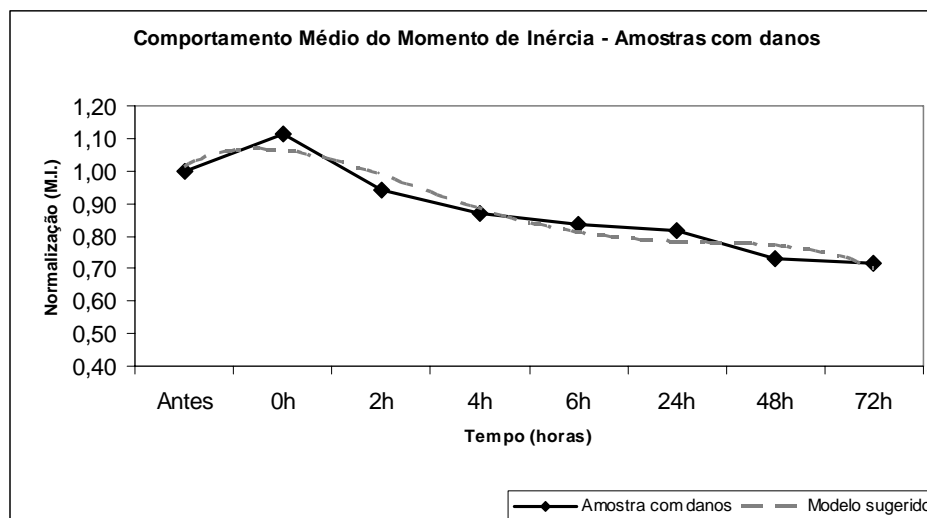


Gráfico 10 Modelagem matemática do comportamento da atividade em batatas que desenvolveram o *internal bruising*

Uma vez que a escala entre períodos de tempo de análise não segue intervalos constantes durante a realização do experimento foi necessária a construção de uma escala não linear para a atribuição exata de valores para x correspondente ao tempo de análise após o impacto sofrido pela amostra. A Tabela 9 apresenta o intervalo em horas para cada variação de unidade.

Tabela 9 Ajuste para a escala não linear do tempo de análise

VARIAÇÕES NA ESCALA		
Valor em horas	Valores de X	Relação no intervalo de tempo
Antes do impacto	1	--
0h (imediatamente após o impacto)	2	1 unidade em 2 horas
2h	3	1 unidade em 2 horas
4h	4	1 unidade em 2 horas
6h	5	1 unidade em 18 horas
24h	6	1 unidade em 24horas
48h	7	1 unidade em 24horas
72h	8	--

5.7 Mapas de intensidade – análise gráfica

A Figura 10 apresenta os mapas gerados pela técnica de Fujii para as batatas com e sem dano. As batatas sem desenvolvimento de danos apresentam um comportamento estável ao longo do período de análise, enquanto nas batatas que sofreram impactos ocorrem pequenas alterações no padrão de atividade, observado com mais clareza no instante imediatamente após o impacto (0h). Este resultado vai ao encontro com os obtidos por Pajuelo et al. (2003), onde que por meio das técnicas Fujii e DG foi possível identificar, em maçãs, a alteração no padrão do *biospeckle* no instante imediatamente após a ocorrência de impacto.

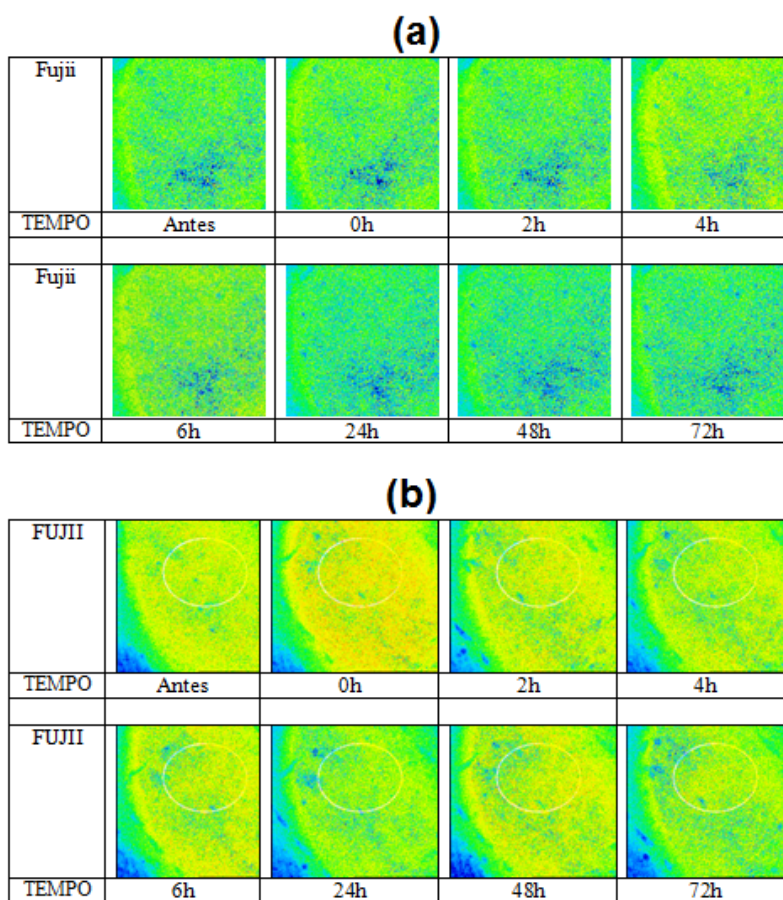


Figura 10 Análise Fujii para batatas usadas como testemunha (a) e para as batatas desenvolvimento do dano interno (b). A área circulada mostra a região exata de ocorrência do impacto

Apesar de se observar a alteração no padrão do mapa de atividade imediatamente após o impacto ocorrido, a técnica de Fujii se demonstra incapaz de captar as variações de atividade ocorridas nos momentos seguintes de análise, sendo difícil diferenciar os padrões entre 2h – 72horas. A principal hipótese para a dificuldade da técnica gráfica em observar o fenômeno, em contraposição à técnica numérica, está relacionada à configuração experimental adotada nesse

caso, que pode estar relacionada à uma falta de foco, bem como ao efeito da luz refletida. O uso de polarizadores na configuração experimental (RIBEIRO, 2011) e o ajuste de foco específico para este tipo de análise (PAJUELO et al., 2003) são medidas a serem avaliadas em trabalhos futuros, buscando encontrar o melhor ajuste experimental para este tipo de análise.

Outra justificativa para a defasagem da análise gráfica em relação à análise numérica seria a forma como os métodos são calculados. O processamento das técnicas de Fujii e DG são realizados por meio da comparação de imagens sucessivas, caracterizando-se mais como um cálculo de médias, e, portanto, trabalhando em primeira ordem, enquanto que o momento de inércia é calculado pela dispersão da intensidade de cor em torno de uma média e, neste caso, trabalhando com uma estatística de segunda ordem. A produção de um algoritmo, baseado na fórmula do momento de inércia, mas que permita uma análise gráfica das variações temporais ocorridas no material analisado pode ser alvo de trabalhos futuros.

O método DG também apresentou dificuldades em obter informações para prever a influência do impacto no desenvolvimento de um injúria interna na batata. No entanto, a técnica DG permitiu monitorar a queda de atividade propiciada pela degradação na região do impacto, sendo possível observar que ao longo do tempo a região exata de desenvolvimento do dano perde atividade. Como já descrito, ao longo do desenvolvimento do dano ocorre um escurecimento na região provocado pela liberação de melanina, além da oxidação dos tecidos da região, fruto do contato com oxigênio e aceleração das atividades metabólicas de algumas enzimas (FERNANDES et al., 2010; MENOLLI et al., 2008). Os padrões nos mapas de intensidade gerados podem ser observados na Figura 11.

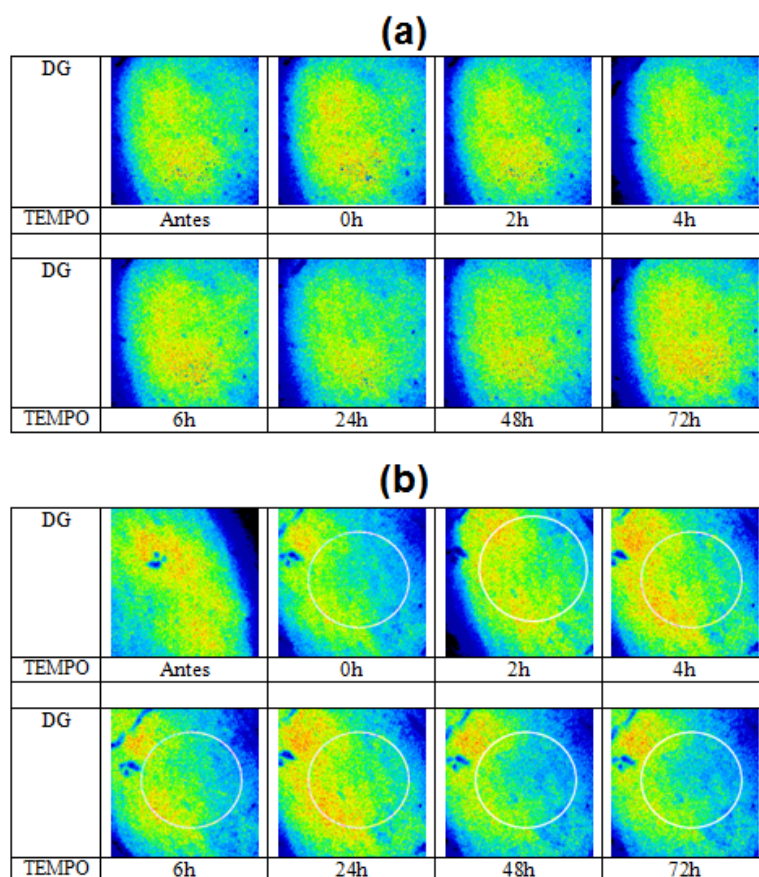


Figura 11 Análise das diferenças generalizadas para batatas usadas como testemunha (a) e para as batatas desenvolvimento do dano interno (b). A área circulada mostra a região exata de ocorrência do impacto

Ainda foi aplicada uma decomposição em frequência nas imagens Fujii e DG por meio da transformada de *wavelets* com o objetivo de obter informações até então não observadas nos mapas originais (CARDOSO et al., 2011; PASSONI et al., 2005). Porém, a decomposição em frequência não apresentou respostas significativas, sendo necessários ensaios mais específicos para o aprimoramento da aplicação das técnicas gráficas em estudo de predição de desenvolvimento de danos.

6 CONCLUSÕES

- a) a técnica do *biospeckle* laser associada ao momento de inércia mostrou ser uma ferramenta capaz de prever a ocorrência de *internal bruising* ainda em momentos de não identificação visual do escurecimento causado em batatas após impactos mecânicos controlados;
- b) a partir do cálculo do momento de inércia foi possível diferenciar batatas saudáveis de batatas que sofreram algum tipo de impacto, e, portanto, tendem a desenvolver injúrias internas;
- c) a análise das atividades metabólicas relacionadas ao desenvolvimento dos danos possibilitou a predição do desenvolvimento das injúrias a partir de 4 horas, enquanto as atividades ocorridas na região próxima da área de injúria em diversos instantes possibilitaram prever o desenvolvimento do dano a partir de 6 horas. A análise da imagem sem distinção de área reduziu o tempo de predição do dano para 2 horas após impacto;
- d) os modelos matemáticos sugeridos foram capazes de representar de forma satisfatória as alterações metabólicas ocorridas tanto nas regiões exatas de desenvolvimento do dano, quanto nas regiões periféricas fora da zona de escurecimento. Os modelos matemáticos além de descrever numericamente o comportamento das atividades ocorridas nas regiões analisadas ao longo do experimento, poderão ser utilizados para garantir a repetibilidade dos resultados em trabalhos futuros;
- e) as técnicas gráficas Fujii e DG mostraram ser promissoras no auxílio da predição de injúrias provocadas por impactos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. M.; SILVA, A. Por uma educação matemática crítica: a modelagem matemática como alternativa. **Educação Matemática Pesquisa**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 221-241, 2010.

AMALVY, J. I. et al. Application of dynamic speckle interferometry to the drying of coatings. **Progress in Organic Coating**, London, v. 42, p. 89-99, June 2001.

ARIZAGA, R. et al. Display of local activity using dynamic speckle patterns. **Optical Engineering**, Redondo Beach, v. 41, n. 2, p. 287-294, June 2002.

ARIZAGA, R. et al. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. **Optics and Laser Technology**, Amsterdam, v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.

BAGNATO, V. S. Os fundamentos da luz laser. **Física na Escola**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 4-9, jul./dez. 2001.

BARBOSA, J. C. Modelagem e modelos matemáticos na educação científica. **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Alexandria, v. 2, n. 2, p. 69-85, jul. 2009.

BARITELLE, A. et al. A classification system for impact-related defects in potato tubers. **American Journal of Potato Research**, New Zealand, v. 77, n. 3, p. 143-148, 2000.

BASTOS, J. L. D.; DUQUIA, R. P. Medidas de dispersão: os valores estão próximos entre si ou variam muito? **Scientia Medica**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 40-44, jan./mar. 2007.

BENTINI, M.; CAPRARA, C.; MARTELLI, R. Harvesting damage to potato tubers by analysis of impacts records whit sphere instrumented. **Biosystems Engineering**, New York, v. 94, n. 1, p. 75-85, May 2006.

BERGKVIST, A. **Biospeckle-based study of the line profile of light scattered in strawberries**. 1997. 62 p. Master (Thesis in Computer)–University of Lund, Sweden, 1997.

BLAHOVEC, J.; MAREŠ, V.; PAPERŠTEIN, F. Static and dynamic tests of pear bruise sensitivity. **Research in Agricultural Engineering**, Slezská, v. 50, n. 2, p. 54-60, June 2004.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Reliability of biospeckle image analysis. **Optics and Lasers Engineering**, London, v. 45, n. 3, p. 390-395, 2007.

BRAGA, R. A. et al. Assessment of seed viability by laser speckle techniques. **Biosystems Engineering**, Edinburgh, v. 86, n. 3, p. 287- 294, Nov. 2003.

CALDEIRA, C. P. **Normalização de base de dados**. Portugal: Universidade de Évora. Departamento de Informática, 2003. 27 p.

CAPUCHO, R. B. **Biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos de atacados alimentícios**. 2010. 76 p. Monografia (Graduação em Tecnologia Ambiental)–Escola SENAI Mario Amato, São Paulo, 2010.

CARDOSO, R. R. et al. Frequency signature of water activity by *biospeckle* laser. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 284, n. 8, p. 2131-2136, Apr. 2011.

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.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

COATES, J. **Encyclopaedia of analytical chemistry**. Chichester: J. Wiley and Sons, 2000. 535 p.

DUNDFORD, H. B.; STILLMAN, J. S. Function and mechanism of action of peroxidases. **Coordination of Chemistry Reviews**, Lausanne, v. 19, p. 187-251, June 1976.

ESEAGHBEGYI, A.; BESHARATI, S. Potato variety and storage for tuber sensitivity in bruising. **World Applied Sciences Journal**, Shanrekord, v. 7, n. 12, p. 1504-1507, 2009.

EXPIDO, J.; BUENO, J.; CANNEYT, T. van. Impact detection in potato handling lines with sensors based on triaxial accelerometers. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 682, p. 1125-1131, July 2005.

FERNANDES, P. L. O. et al. Escurecimento enzimático em vegetais minimamente processados e seus métodos de controle. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 2, p. 21-27, 2010.

FERREIRA, M. D.; HENRIQUE NETTO, L. Avaliação de processos nas linhas de beneficiamento e classificação de batatas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 279-285, abr. 2007.

FINGER, F. L.; FONTES, P. C. R. Manejo pós-colheita da batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, p. 105-111, mar./abr. 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global agriculture towards 2050**. Rome, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2011.

FREITAS, A. A. et al. Uso de farinha de batata inglesa (*Solanum Tuberosum* L.) cv. monalisa em misturas para cobertura de empanados de frango. **Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 11, n. 2, p. 17-26, ago. 2005.

FUJII, H.; ASAKURA, T. O fluxo sanguíneo observada por varing speckle laser tempo. **Optics Letters**, New York, v. 10, n. 3, p. 104-106, 1985.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2008. 954 p.

GUNES, G.; LEE, C. Y. Colour of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 3, p. 572-575, 1997.

HARALICK, R. M.; SHANMUNGAN, K.; DINSTEN, I. Textural feartures of images classification. **IEE Transaction Systems Man Cybernetics**, New York, v. 3, n. 6, p. 610-621, 1973.

HENZ, G. P.; BRUNE, S. **Redução de perdas pós-colheita em batata para consumo**. Brasília: Embrapa, 2004. 10 p. (Circular técnica, 34).

JOBLING, J. Potatoes: handle with care. **Good Fruit and Vegetables Magazine**, Simcoe, v. 11, p. 34-35, June 2000.

KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 5, p. 99-104, 1986.

MARTINS, C. R.; FARIAS, R. M. Produção de alimentos x desperdício: tipos, causas e como reduzir perdas na produção agrícola: revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 9, n. 1, p. 20-32, 2002.

MENOLLI, L. N. et al. Atuação das enzimas oxidativas no escurecimento causado pela injúria por frio em raízes de batata-baroa. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 57-63, 2008.

MITSUHASHI-GONZALEZ, K. et al. Bruising profile of fresh apples associated with tissue type and structure. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 26, n. 3, p. 509-517, 2010.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon e Beach Science Publishers, 1970. v. 1.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A. Alteração de sabor e aroma em tomates causada por impacto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, p. 385-388, jul./set. 2000.

NICOLAÏ, B. M. et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetables quality by means of NIR spectroscopy: a review. **Postharvest Biology Technology**, Berlin, v. 46, p. 99-108, Apr. 2007.

NOBRE, C. M. B. et al. *Biospeckle* laser spectral analysis under inertia moment, entropy and cross-spectrum methods. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 282, n. 11, p. 2236-2242, Jan. 2009.

OULOMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity measurements on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of laser speckle. **Journal of Moderns Optics**, London, v. 36, n. 2, p. 136-179, Feb. 1989.

OZAKI, Y.; MCCLURE, W. F.; CHRISTY, A. A. **Near-infrared spectroscopy in food science and technology**. New Jersey: J. Wiley and Sons, 2006. 368 p.

PAJUELO, M. et al. Bio-speckle assessment of bruising in fruits. **Optics and Lasers Engineering**, London, v. 40, n. 2, p. 13-24, 2003.

PASSONI, I. et al. Dynamic speckle processing using wavelets based entropy. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 246, n. 1/3, p. 219-228, 2005.

PINELI, L. L. O. et al. Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas 'Ágata' minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 993-999, 2005.

QING, Z.; JI, B.; ZUDE, B. Non-destructive analyses of apple quality parameters by means of laser-induced light backscattering imaging. **Postharvest Biology and Technology**, Berlin, v. 48, n. 2, p. 215-222, 2008.

RABAL, H. J.; BRAGA, R. A. **Dynamic laser speckle and applications**. Boca Raton: CRC, 2008. 304 p.

RABAL, H. J, et al. Transient phenomena analysis using dynamic speckle patterns. **Optical Engineering**, Virginia, v. 35, p. 57-62, Sept. 1998.

RABELO, G. F. **Avaliação da aplicação do speckle dinâmico no monitoramento da qualidade de laranja**. 2000. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)–Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

RABELO, G. F. et al. Laser speckle techniques in quality evaluation of orange fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 570-575, out. 2005.

RIBEIRO, K. M. **Desenvolvimento de um protocolo para a aplicação da técnica do biospeckle em culturas de tecidos**. 2011. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ROCHA, A. M. C. N.; COULON, E. C.; MORAIS, A. M. M. B. Effects of vacuum packaging on the physical quality of minimally processed potatoes. **Food Service Technology**, San Francisco, v. 3, n. 3, p. 81-88, 2003.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A clusters analysis method for gruping means in the analisys variance. **Biometrics**, Railegh, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SENDRA, G. H. et al. Decomposition of *biospeckle* images in temporary spectral bands. **Optics Letters**, New York, v. 30, n. 13, p. 1641-1643, Dec. 2005.

SILVA, C. M. R. **Uso do teste de Scott-Knott e da análise de agrupamentos, na obtenção de grupos de locais para experimentos com cana-de-açúcar.** 2007. 48 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

SILVA, G. O. et al. Qualidade de película de famílias clonais de batata. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 03, p. 633-638, 2008.

SILVA, M. V.; ROSA, C. I. L. F.; VILAS BOAS, E. V. B. Conceitos e métodos de controle do escurecimento enzimático no processamento mínimo de frutas e hortaliças. **Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 27, n. 1, p. 83-96, 2009.

TEIXEIRA, D. A. et al. Evidências de indução de resistência sistêmica à ferrugem do eucalipto mediada por rizobactérias promotoras do crescimento de plantas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 350-356, 2005.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 79, n. 1, p. 61-78, Jan. 1998.

VILAS BOAS, E. V. de B. **Qualidade de alimentos vegetais.** Lavras: UFLA/FAEPE/DCA, 2002. 68 p. Curso de Especialização Pós-graduação Ensino à Distância: Tecnologia e Aualidade de Alimentos Vegetais.

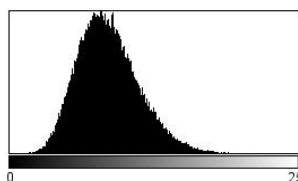
XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. M. Temporal and spatial proprieties of the time-varying speckles of botanical. **Optical Engineering**, Virginia, v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. **Near infrared technology in the agricultural and food industries**. 2nd ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemist, 2001. 237 p.

ZEEBROECK, M. van et al. The simulation of the impact damage to fruit during the passage of a truck over a speed bump by means of the discrete element method. **Biosystems Engineering**, Virginia, v. 101, n. 1, p. 58-68, 2008.

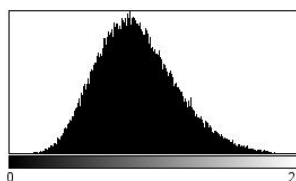
ANEXOS

Histogramas das amostras utilizadas no experimento



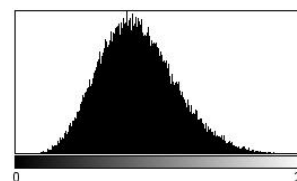
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 87.133 Max: 240
 StdDev: 27.598 Mode: 80 (1091)

Testemunha 1



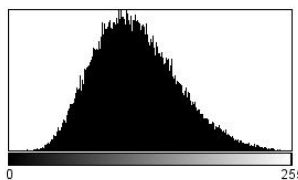
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 112.185 Max: 253
 StdDev: 35.556 Mode: 106 (870)

Testemunha 2



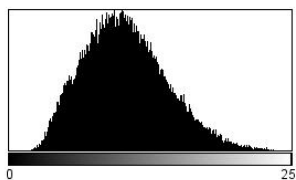
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 107.607 Max: 253
 StdDev: 34.066 Mode: 98 (902)

Testemunha 3



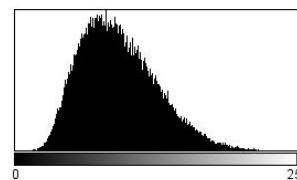
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 114.572 Max: 253
 StdDev: 38.042 Mode: 101 (787)

Testemunha 4



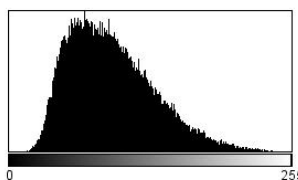
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 104.996 Max: 253
 StdDev: 38.125 Mode: 95 (773)

Testemunha 5



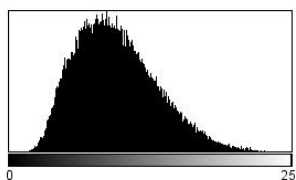
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 93.525 Max: 251
 StdDev: 34.872 Mode: 82 (876)

Amostra 1



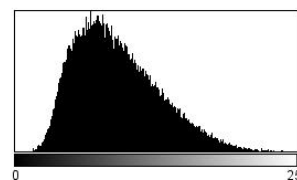
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 92.786 Max: 253
 StdDev: 39.197 Mode: 68 (804)

Amostra 2



Count: 71060 Min: 16
 Mean: 96.881 Max: 253
 StdDev: 37.255 Mode: 88 (807)

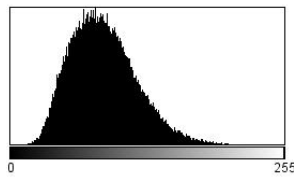
Amostra 3



Count: 71060 Min: 16
 Mean: 92.257 Max: 253
 StdDev: 38.599 Mode: 68 (834)

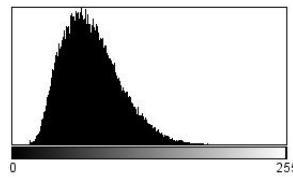
Amostra 4

ANEXOS, continuação



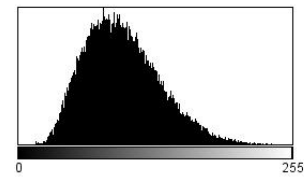
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 86.634 Max: 231
 StdDev: 31.025 Mode: 79 (960)

Amostra 5



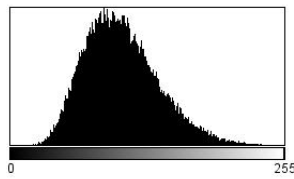
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 73.713 Max: 218
 StdDev: 27.638 Mode: 64 (1113)

Amostra 6



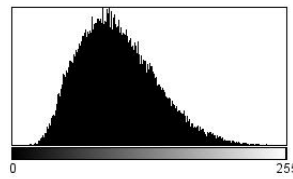
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 96.926 Max: 253
 StdDev: 35.604 Mode: 79 (870)

Amostra 7



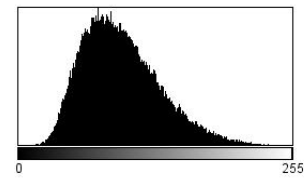
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 103.551 Max: 253
 StdDev: 34.798 Mode: 87 (880)

Amostra 8



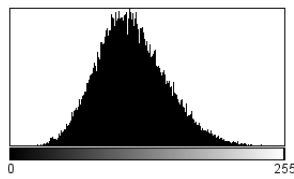
Count: 71060 Min: 16
 Mean: 98.033 Max: 253
 StdDev: 36.264 Mode: 84 (850)

Amostra 9



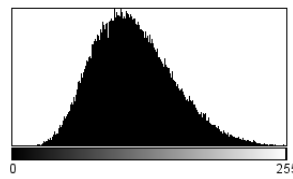
Count: 91191 Min: 16
 Mean: 95.829 Max: 249
 StdDev: 36.459 Mode: 74 (1113)

Amostra 10



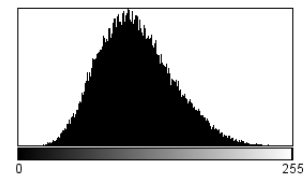
Count: 35898 Min: 16
 Mean: 112.816 Max: 253
 StdDev: 32.646 Mode: 111 (478)

Amostra 11



Count: 85722 Min: 17
 Mean: 112.974 Max: 253
 StdDev: 37.408 Mode: 95 (962)

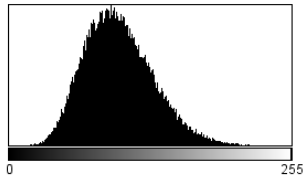
Amostra 12



Count: 77436 Min: 16
 Mean: 109.568 Max: 253
 StdDev: 34.867 Mode: 102 (948)

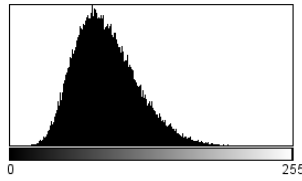
Amostra 13

ANEXOS, continuação



Count: 74256 Min: 16
Mean: 99.175 Max: 244
StdDev: 31.439 Mode: 92 (1008)

Amostra 14



Count: 73440 Min: 16
Mean: 86.807 Max: 228
StdDev: 28.596 Mode: 74 (1145)

Amostra 15

Valores normalizados do momento de inércia – Análise por áreas

Testemunhas								
	Antes	0h	2h	4h	6h	24h	48h	72h
Testemunha 1	1,00	2,10	2,54	2,78	1,77	2,08	1,90	2,43
Testemunha 2	1,00	0,93	0,87	1,04	1,27	1,16	1,04	0,84
Testemunha 3	1,00	0,99	1,04	1,05	1,08	1,09	0,97	0,85
Testemunha 4	1,00	1,04	1,07	1,00	0,76	0,74	0,98	1,06
Testemunha 5	1,00	0,88	0,89	1,02	0,94	0,93	0,77	0,84
Região do dano								
	Antes	0h	2h	4h	6h	24h	48h	72h
Amostra 1	1,00	1,26	1,29	1,27	1,22	1,81	1,45	1,29
Amostra 2	1,00	1,09	1,05	0,79	0,78	0,80	0,74	0,52
Amostra 3	1,00	1,02	0,91	0,89	0,86	0,76	0,74	0,65
Amostra 4	1,00	1,48	1,37	1,12	0,94	0,85	0,67	0,60
Amostra 5	1,00	1,51	0,99	1,12	1,05	1,02	0,84	0,69
Amostra 6	1,00	1,29	1,08	0,80	1,05	0,86	0,71	1,03
Amostra 7	1,00	1,04	1,14	0,80	0,77	0,82	0,67	0,55
Amostra 8	1,00	1,05	0,93	0,77	0,68	0,65	0,70	0,57
Amostra 9	1,00	1,12	0,92	0,83	0,94	0,80	0,80	0,86
Amostra 10	1,00	1,27	0,86	0,88	0,91	0,89	0,94	1,01
Amostra 11	1,00	1,03	0,91	0,52	0,36	0,38	0,43	0,31
Amostra 12	1,00	1,10	0,54	0,44	0,34	0,26	0,26	0,20
Amostra 13	1,00	1,25	0,69	0,73	0,86	0,71	0,46	0,39
Amostra 14	1,00	1,04	0,93	0,88	0,84	0,79	0,64	0,61
Amostra 15	1,00	1,28	1,21	0,83	1,13	1,00	0,67	0,50
Região fora do dano								
	Antes	0h	2h	4h	6h	24h	48h	72h
Amostra 1	1,00	1,05	1,13	1,08	0,99	1,13	0,95	0,08
Amostra 2	1,00	0,60	0,42	0,31	0,57	0,23	0,18	1,12
Amostra 3	1,00	1,00	0,62	0,62	0,56	0,71	0,72	0,40
Amostra 4	1,00	1,67	1,52	1,19	1,31	1,28	0,99	1,05
Amostra 5	1,00	0,95	0,92	0,81	0,59	0,47	0,52	0,74
Amostra 6	1,00	0,58	0,48	0,52	0,34	0,51	0,47	0,54
Amostra 7	1,00	0,90	0,60	0,64	0,58	0,55	0,32	0,58

ANEXOS, continuação

Amostra 8	1,00	2,11	2,04	1,39	1,34	1,36	1,22	2,05
Amostra 9	1,00	0,74	0,95	0,50	0,44	0,43	0,52	0,68
Amostra 10	1,00	0,87	1,03	1,02	0,93	0,81	0,83	0,76
Amostra 11	1,00	0,72	0,84	1,36	1,07	0,83	0,91	0,60
Amostra 12	1,00	1,12	1,27	1,55	1,35	0,87	0,52	0,58
Amostra 13	1,00	0,86	0,90	0,87	0,78	0,80	0,56	0,59
Amostra 14	1,00	1,57	1,53	1,53	1,44	1,34	1,27	1,17
Amostra 15	1,00	0,74	0,95	0,50	0,44	0,43	0,52	0,68

**Valores normalizados do momento de inércia –
Análise sem distinção de áreas**

Testemunhas								
	Antes	0h	2h	4h	6h	24h	48h	72h
Testemunha 1	1,00	1,18	1,33	1,43	1,38	1,46	1,25	1,12
Testemunha 2	1,00	1,01	0,99	1,01	1,04	0,92	0,96	0,93
Testemunha 3	1,00	1,10	1,12	1,04	1,10	1,13	1,05	1,09
Testemunha 4	1,00	0,97	1,05	1,00	1,10	0,95	0,92	0,89
Testemunha 5	1,00	1,06	1,01	0,99	0,96	1,01	0,99	0,96
Amostra de danos								
	Antes	0h	2h	4h	6h	24h	48h	72h
Amostra 1	1,00	1,28	1,26	1,29	1,24	1,16	1,15	0,88
Amostra 2	1,00	1,02	1,04	0,79	0,88	0,77	0,70	0,95
Amostra 3	1,00	0,85	0,80	0,61	0,61	0,50	0,57	0,59
Amostra 4	1,00	1,30	0,97	0,89	0,77	0,88	0,86	0,87
Amostra 5	1,00	1,23	0,99	1,01	0,92	0,90	0,72	0,63
Amostra 6	1,00	1,28	0,94	0,87	0,93	0,83	0,75	0,83
Amostra 7	1,00	1,10	0,89	0,74	0,84	0,84	0,85	0,77
Amostra 8	1,00	1,29	0,97	0,98	0,85	1,05	0,92	0,80
Amostra 9	1,00	1,24	1,01	0,88	0,90	1,00	0,90	0,93
Amostra 10	1,00	1,21	0,95	0,87	0,80	0,83	0,86	0,87
Amostra 11	1,00	1,05	0,68	0,62	0,49	0,46	0,34	0,23
Amostra 12	1,00	0,83	0,72	0,62	0,58	0,46	0,34	0,39
Amostra 13	1,00	1,07	0,82	0,86	0,80	0,81	0,59	0,57
Amostra 14	1,00	1,10	1,12	1,15	1,15	0,94	0,78	0,72
Amostra 15	1,00	0,89	0,95	0,86	0,78	0,81	0,59	0,68