



CÍNTIA RIBEIRO ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA
DETECÇÃO E ANÁLISE DE POEIRA UTILIZANDO
PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

LAVRAS – MG

2017

CÍNTIA RIBEIRO ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA DETECÇÃO E
ANÁLISE DE POEIRA UTILIZANDO PROCESSAMENTO DE
IMAGENS**

Tese 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 Doutor.

Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo
Orientador

**LAVRAS - MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Andrade, Cíntia Ribeiro .

Desenvolvimento de um método para detecção e análise de
poeira utilizando processamento de imagens / Cíntia Ribeiro
Andrade. - 2016.

87 p. : il.

Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2016.
Bibliografia.

1. *Speckle laser*. 2. Diferenças generalizadas. 3. Momento de
inércia. I. Rabelo, Giovanni Francisco. . II. Título.

CÍNTIA RIBEIRO ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA DETECÇÃO E
ANÁLISE DE POEIRA UTILIZANDO PROCESSAMENTO DE
IMAGENS**

***DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE DETECTION AND
ANALYSIS OF DUST USING IMAGE PROCESSING***

Tese 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 Doutor.

APROVADA em 12 de dezembro de 2016.

Profa. Dra. Ellen Waleska Nascimento da Fonseca Contado
Profa. Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi
Prof. Dr. Reginaldo Barbosa Fernandes

UFLA
UFLA
DENEP -
CEFET MG
IEF - UFV

Prof. Dr. Carlos Antônio Rufino

Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo
Orientador

LAVRAS - MG

2017

DEDICO

A Deus, que é tudo em minha vida.

Ao meu marido Helvésio, por todo amor e companheirismo.

Aos meus pais e irmão por serem minha base e apoio.

*A minha filha Alice, que cresce dentro de mim e chegará para consagrar essa
conquista.*

Amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, presente em todos os momentos da minha vida, por ser minha força durante toda a caminhada! Pelas bênçãos recebidas!

Ao professor Giovanni Rabelo por seus valiosos ensinamentos, orientação e confiança depositada em mim para a realização deste trabalho.

Ao Rodrigo, aluno de iniciação científica, pela ajuda na realização dos experimentos.

Aos amigos do CEDIA pela contribuição, amizade, apoio e pela harmoniosa convivência.

Ao professor Roberto Braga pela amizade, ensinamentos e por sempre me receber com tanto carinho no CEDIA.

Ao Sr. Antônio e à Dona Josélia por tornarem os momentos que passei no CEDIA tão agradáveis.

À secretária Helen, que sempre me atendeu com competência e carinho, pela amizade e serviços prestados.

Aos amigos do CEFET-MG Unidade Nepomuceno que sempre torceram por mim e que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

A todas as pessoas que sempre torceram e me apoiaram, pela força, carinho e amizade.

A todos, muito obrigada!

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

A quantificação da poeira em suspensão, um dos dispersóides mais comuns presentes no ar, tem sido apurada com o objetivo de combater doenças em humanos e animais além dos riscos que podem trazer ao setor agrário. Os instrumentos utilizados para a medição, como a microscopia e as bombas de amostragem, apesar de precisos, são caros e de difícil uso fora dos laboratórios. Visando obter um método rápido, barato e de fácil implementação, este trabalho propõe a detecção da poeira e outros dispersóides por processamento de imagens. As imagens para análise foram capturadas por uma câmera CCD de uso doméstico, com e sem a utilização da iluminação *laser*. Para o processamento das imagens, foram utilizadas as técnicas do momento de inércia (MI), as diferenças generalizadas (DG) e o coeficiente de correlação (ρ). Foram realizados ensaios pilotos considerando a poeira depositada sobre a superfície e o uso da técnica do MI para análise dos resultados. Posteriormente, a mesma técnica foi utilizada para análise, alterando-se a configuração do experimento com a finalidade de manter a poeira em suspensão. Por último, ainda com a poeira em suspensão, utilizou-se a iluminação *laser* e as técnicas de análise MI, DG e correlação. O número de repetições, amostras e quantidade de imagens capturadas foram escolhidos de forma aleatória, buscando obter a otimização dos resultados e verificando as limitações do protótipo utilizado nos experimentos. Os valores de MI aumentam diretamente proporcional à quantidade de material particulado em suspensão. O método DG permitiu uma avaliação visual do aumento do material em suspensão e o valor do coeficiente de correlação diminuiu com esse aumento. Os métodos de análise óptica utilizados (MI, DG e ρ) são confiáveis para detectar o acúmulo de dispersóides em suspensão no ar.

Palavras-chave: *Speckle laser*. Diferenças generalizadas. Momento de inércia. Poeira.

ABSTRACT

The quantification of suspension dust, one of the most common dispersoids present in the air, has been determined with the objective of fighting human and animal diseases, as well as risks they can bring to the agricultural sector. Despite being precise, the instruments used for the measurement, such as microscopy and sampling pumps, are expensive and of difficult use outside of the laboratories. In order to obtain a method of easy implementation, fast and cheap, this work proposes the detection of dust and other dispersoids by image processing. The images for analysis were captured by a domestic use CCD camera, with and without laser illumination. For image processing, we used the moment of inertia techniques (MI), generalized differences (GD) and coefficient of correlation (ρ). Pilot trials were conducted considering the dust deposited on the surface and the use of the MI technique for analyzing the results. Posteriorly, the same technique was used for analysis, altering the configuration of the experiment in order to maintain the dust in suspension. Finally, still with the dust in suspension, we used the laser illumination and the MI, GD and correlation techniques. The number of replicated, samples and images captured were randomly chosen, seeking the optimization of the results and verifying the limitations of the prototype used in the experiments. The MI values are directly proportionate to the quantity of particulate material in suspension. The GD method allowed the visual evaluation of the increase of suspended material, with the value of coefficient of correlation decreasing with this increase of suspended material. The methods used for optical analysis (MI, GD and ρ) are trustworthy to detect the accumulation of dispersoids suspended in the air.

Keywords: Speckle laser. Generalized differences. Moment of inertia. Dust.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Curvas das frações inalável, torácica e respirável em função do diâmetro aerodinâmico da partícula, adotadas internacionalmente pela ACGIH, ISO e CEN. Poeiras torácicas e respiráveis como subfrações da fração inalável.	22
Figura 2 -	Amostrador de partículas Respicon da TSI.	27
Figura 3 -	Fases do reconhecimento de padrões.	31
Figura 4 -	Exemplo de THSP e a matriz MOC correspondente para uma amostra de baixa atividade.	38
Figura 5 -	Exemplos de THSP e a matriz MOC correspondente para uma amostra de alta atividade.	38
Figura 6 -	Montagem do experimento para poeira depositada na superfície com fundo branco e azul.	42
Figura 7 -	Montagem do experimento para poeira suspensa com fundo branco, azul e com iluminação <i>laser</i>	42
Figura 8 -	Balança analítica utilizada para pesagem das amostras.	44
Figura 9 -	Área demarcada para análise da poeira.	45
Figura 10 -	Circuito PWM para controle de velocidade.	46
Figura 11 -	Escolha da linha e coluna na imagem para o cálculo do valor de MI.	46
Figura 12 -	Imagens obtidas utilizando o fundo de cor azul para as 4 amostras de poeira, sendo: (a) 0 grama, (b) 0,2 gramas, (c) 0,35 gramas, (d) 0,5 gramas.	47
Figura 13 -	Área definida para análise (retângulo preto).	48
Figura 14 -	Regiões demarcadas para o cálculo do MI utilizando fundo branco (a) e azul (b).	49

Figura 15 - <i>Setup</i> do experimento com iluminação <i>laser</i> e o detalhe para inserção da poeira.....	50
Figura 16 - Retângulo branco para o cálculo do MI.	51
Figura 17 - Região demarcada para o cálculo do MI.....	53
Figura 18 - Experimento realizado com iluminação <i>laser</i> e o detalhe lateral do tubo para inserção do talco. Em branco a área demarcada para aplicação do método MI.....	54
Figura 19 - Variação do valor do MI em relação à quantidade de poeira para o fundo branco.....	59
Figura 20 - Variação do valor do MI em relação à quantidade de poeira para o fundo azul.....	59
Figura 21 - Evolução da intensidade do pixel ponto a ponto ao longo da linha 70 para diferentes quantidades de poeira, através do cálculo da média aritmética ponto a ponto das 3 repetições do experimento (fundo azul).	61
Figura 22 - Evolução da intensidade do pixel ponto a ponto ao longo da linha 70 para diferentes quantidades de poeira, através do cálculo da média aritmética ponto a ponto das 3 repetições do experimento (fundo branco).	62
Figura 23 - Mapa de atividades DG de amostras de poeira em suspensão com iluminação <i>laser</i> , sendo: (a) 0 grama, (b) 0,1 gramas em relação a 0 grama, (c) 0,2 gramas em relação a 0 grama e (d) 0,3 gramas em relação a 0 grama.	66
Figura 24 - Mapa de atividades DG de amostras de poeira em suspensão de 0 grama (a) até 0,3 grama (p), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.	69
Figura 25 - Valores de MI para o experimento com talco.	74

Figura 26 - Mapa de atividades DG de amostras de talco em suspensão de 0 grama (a) até 0,12 gramas (g), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.	74
Figura 27 - Valores do coeficiente de correlação para o experimento com talco.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de pó das amostras do experimento com poeira depositada.....	44
Tabela 2 - Quantidade de pó das amostras do experimento 1 e 2 com poeira em suspensão para os fundos branco e azul.	47
Tabela 3 - Quantidade de pó das amostras do experimento 3 com poeira em suspensão com iluminação <i>laser</i>	50
Tabela 4 - Quantidade de pó das amostras do experimento 4 com poeira em suspensão com iluminação <i>laser</i>	52
Tabela 5 - Variação do valor de MI nas 12 linhas escolhidas dentro da área demarcada (fundo azul e amostra de 0,3 gramas).....	57
Tabela 6 - Variação do MI com o aumento da poeira em suspensão.	60
Tabela 7 - Valores do MI para o experimento 2 (fundo branco).	63
Tabela 8 - Valores do MI para o experimento 2 (fundo azul).	63
Tabela 9 - Valores de MI para o experimento 3.	65
Tabela 10 - Valores do coeficiente de correlação para as imagens processadas pelo método DG.	67
Tabela 11 - Valores de MI para o experimento 4.	68
Tabela 12 - Valores do coeficiente de correlação referentes ao experimento 4.	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Geral.....	17
2.2	Específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	Poluição do ar.....	19
3.2	Poeira: definições e malefícios	20
3.2.1	Classificação dos tipos de poeira	20
3.2.2	Riscos à saúde causados pela poeira.....	21
3.2.3	Exposição ocupacional.....	22
3.2.4	Riscos ao sistema agrário e de produção animal.....	23
3.3	Métodos utilizados para medição do nível de poeira	25
3.3.1	Bombas de amostragem de poeira.....	25
3.3.2	Sistema separador de partículas – Ciclone.....	26
3.3.3	Sistema separador de partículas - Impactador virtual.....	26
3.3.4	Análise gravimétrica de poeira.....	27
3.3.5	Análise por microscopia ótica e microscopia eletrônica.....	28
3.3.6	Medição por espalhamento da luz.....	29
3.3.7	Medição por sensor infravermelho.....	29
3.4	Métodos para análise de imagem.....	29
3.4.1	Reconhecimento de padrões.....	30
3.4.2	Diferencial de imagens e imagens simultâneas.....	32
3.4.3	<i>Speckle laser</i>	33
3.4.4	Método das diferenças generalizadas (DG)	34
3.4.5	Coefficiente de correlação (ρ).....	35
3.4.6	Momento de inércia (MI)	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1	Montagem das superfícies de teste	41
4.2	Realização do experimento.....	43
4.3	Análise das imagens e identificação do método a ser utilizado.....	54
4.4	Validação do método de análise das imagens.....	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1	Experimento com poeira depositada.....	57
5.2	Experimento 1: poeira em suspensão e fundo branco	60
5.3	Experimento 2: poeira em suspensão com fundos branco e azul	60
5.4	Experimento 3: poeira em suspensão com iluminação <i>laser</i>	64
5.5	Experimento 4: poeira em suspensão com iluminação <i>laser</i> e maior número de amostras	67
5.6	Experimento com talco em suspensão.....	73

6	CONCLUSÕES.....	77
7	PERSPECTIVAS FUTURAS	79
	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da poluição do ar tem preocupado especialistas da área da saúde devido às doenças respiratórias que acometem principalmente trabalhadores de mineradoras, construção civil, indústrias de cerâmica, dentre outros, que são constantemente expostos à poeira (ANDRADE et al., 2016; ESTELLITA et al., 2010; ROHR et al., 2013; RONDON; SILVA; BOTELHO, 2011; SANTOS et al., 2007; SILVA, 2007; SOUZA; QUELHAS, 2003).

Algumas doenças como silicose, asma e rinite ocupacionais, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e câncer de pulmão podem ser causadas se os limites de exposição às poeiras em suspensão estipulados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) não forem respeitados.

De uma forma geral, além dos danos causados à saúde os efeitos da poluição do ar podem ser observados também na fauna, flora e materiais. O excesso de poluentes causa danos à vegetação como a redução da resistência às pragas, alteração no processo da fotossíntese, ressecamento e descoloramento das folhas. Nos materiais, os poluentes corroem e escurecem metais, descolorem pinturas, danificam mármore, tornam o papel quebradiço, reduzem a resistência à tensão e formação de manchas em tecidos.

A presença de poeira no armazenamento de grãos, como silos, resulta em riscos de explosões de grandes proporções devido ao acúmulo de poeira dentro de ambientes fechados e em determinadas condições ambientais (RANGEL JÚNIOR, 2008). Já no setor animal, como por exemplo, na suinocultura e avicultura, a poeira pode ser prejudicial à saúde de frangos e suínos além do malefício causado aos trabalhadores locais (D'ALENCAR et al., 2011; PONCIANO et al., 2011; TUYTTENS et al., 2015).

Para se obter um controle adequado dos níveis de poeira nos diversos locais mencionados (ambiente de trabalho, silos, granjas), deve-se monitorar a

quantidade e as características das partículas como tamanho, composição e forma a fim de se permitir controlar os níveis de exposição desse agente/risco.

Os métodos empregados para a detecção e análise de poeira partiram da microscopia para métodos instrumentais automatizados. As amostragens de poeiras geralmente são realizadas através de uma bomba de amostragem que coleta, por meio de filtros, as partículas que se pretende analisar e, em seguida, essas passam por um separador de partículas que fará a classificação de acordo com o tamanho.

As técnicas mais comuns utilizadas para analisar as amostras de poeira coletadas no ambiente são a gravimetria (CAMBRA-LÓPEZ et al., 2015) e a microscopia (FUKUSHIMA; ZHANG, 2015), mas, estão sendo desenvolvidos meios mais apurados e automatizados para se realizar essa análise como, por exemplo, a detecção por espalhamento de luz (RUFINO, 2011) e os sensores infravermelhos (RUEDA; SANTOS; RABELO, 2006). No trabalho de Santos (2001), há uma descrição da importância do uso de imagens para obtenção de detalhes das amostras de particulados como o tamanho da partícula. Santos (2001) também afirma que a utilização de programas computacionais para análise de imagens reduz a insalubridade, subjetividade e fadiga do operador que realiza medições manuais de material particulado.

Na literatura, observa-se que o processamento de imagens vem sendo empregado no desenvolvimento de trabalhos como a análise de materiais biológicos com o uso do *biospeckle laser* (AMARAL et al., 2013; RABELO et al., 2011), a detecção de chuva nos para-brisas dos automóveis (HOCHSTEIN, 2003a, 2003b), identificação de faces (CARVALHO; TAVARES, 2005; KOUKIOU; ANASTASSOPOULOS, 2015), dentre outras aplicações.

Com este estudo espera-se desenvolver um método capaz de detectar e analisar as partículas de poeira em um ambiente interno, por meio de técnicas de processamento de imagens.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver um método capaz de determinar a variação de partículas de poeira em suspensão e as depositadas na superfície de um ambiente através da análise de imagens.

2.2 Específicos

- a) Monitorar os níveis de poeira presentes em um ambiente.
- b) Avaliar a melhor técnica de processamento de imagem a ser utilizada no monitoramento de poeira em suspensão.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Poluição do ar

Segundo a Resolução do Conama nº 3, de 28/06/1990 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1990), é considerado poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que torne ou possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como primários ou secundários. Poluentes primários são emitidos para o ambiente diretamente pelas fontes, como, por exemplo, monóxido de carbono, fuligem, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, dentre outros. Os poluentes secundários são oriundos de reações químicas entre os poluentes primários com substâncias presentes na camada baixa da atmosfera e frações da radiação solar.

Dentre os poluentes atmosféricos, o material particulado apresenta grande relevância devido à sua complexidade em termos de composição química e propriedades físicas, abrangendo uma grande classe de poluentes constituída de poeira, fumaça e todo material sólido e líquido que, devido ao pequeno tamanho, mantém-se suspenso no ar (SANTIAGO et al., 2015).

Material particulado do ar (MP) pode ser definido como partículas sólidas, produzidas por ruptura de um material originalmente sólido, suspensas ou capazes de se manterem suspensas no ar. O material particulado pode ser do tipo grosso ou fino. As partículas grossas possuem o diâmetro aerodinâmico menores que 10 μm (MP_{10}) e as partículas finas possuem o diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$).

O tamanho do material particulado está extremamente ligado ao seu potencial de causar doenças. As partículas com diâmetro igual ou menor a 10 μm (MP_{10}) são as de maior preocupação, pois conseguem passar facilmente pelo nariz e garganta, atingindo os pulmões, podendo causar uma série de doenças respiratórias e cardíacas (RESENDE, 2007).

De acordo com Campos (2013), os agentes químicos encontrados em suspensão na atmosfera podem estar no estado sólido (poeiras, fibras e fumos), líquido (aerossóis e neblinas) ou gasoso (gases e vapores). A poeira é um dos poluentes do ar mais preocupantes em ambientes de trabalho, pois, se seus níveis estiverem acima dos limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), podem causar diversas doenças pulmonares.

3.2 Poeira: definições e malefícios

As poeiras são de particular interesse como dispersóides suspensos no ar pois estão associadas a diversos tipos de doenças ocupacionais além de afetarem a flora, fauna, reduzirem a visibilidade e causar danos a diversos materiais.

3.2.1 Classificação dos tipos de poeira

Miragliotta (2005), em seu trabalho, mostrou que as poeiras podem ser classificadas quanto à forma, origem e tamanho. A forma influencia a impactação e deposição inercial no sistema respiratório e também o projeto de instrumentos para amostragem e análise de partículas. A poeira pode ser de origem mineral, animal e vegetal e o tamanho interfere no local onde as partículas serão depositadas no sistema respiratório humano e no ambiente como todo.

A poeira encontra-se no ambiente em diversas formas, dentre elas destacam-se as sedimentáveis e as em suspensão. A poeira é considerada do tipo sedimentável quando as partículas ficam pouco tempo em suspensão no ar e são maiores que 100 micrometros e encontra-se na forma em suspensão quando o

diâmetro das partículas for menor que 100 micrometros e permanecem muito tempo no ar.

O material particulado está ligado diretamente ao tamanho da partícula. Quanto menor o tamanho da partícula mais afeta a saúde do ser humano e o meio ambiente.

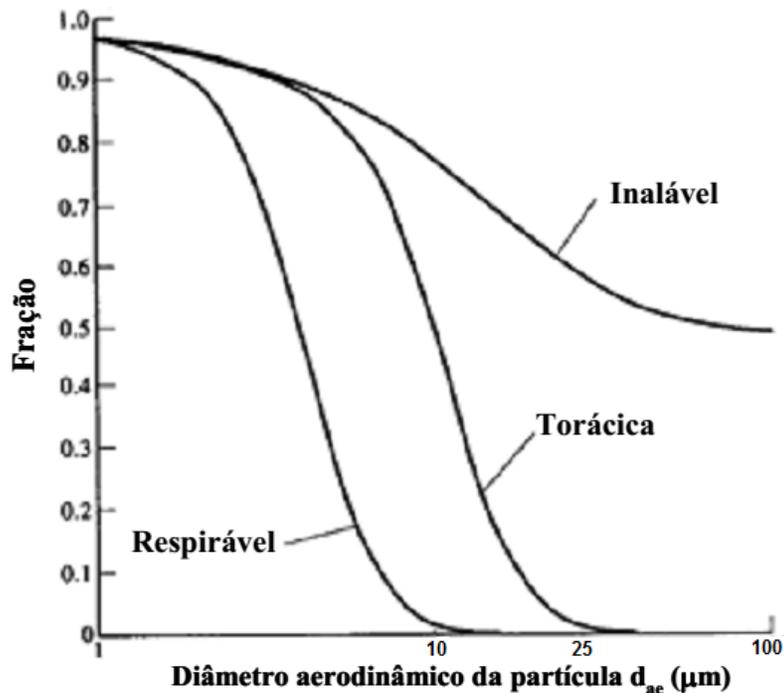
3.2.2 Riscos à saúde causados pela poeira

A poeira pode causar grandes danos à saúde ocasionando doenças respiratórias como a asma, pneumoconioses, câncer, irritação e lesões inflamatórias do pulmão. Os tamanhos das partículas de poeira e o local onde se alojam no sistema respiratório humano influenciam o aparecimento dessas doenças (SANTOS, 2001).

Em relação ao tamanho das partículas de poeira, elas podem ser classificadas em três frações: inalável, torácica e respirável. Devido ao seu tamanho, cada partícula causa um efeito sobre a saúde, dependendo da região onde se depositam no trato respiratório (SANTOS, 2001). Conforme a Norma de Higiene Ocupacional (NHO 08), o material particulado pode ser classificado como inalável, torácico ou respirável. A fração inalável de material particulado suspenso no ar (partículas < 100 μm) consiste nas partículas que ingressam no trato respiratório, pelas vias aéreas superiores (nariz e boca). A fração torácica (partículas < 25 μm) inclui partículas que passam pela laringe e alcançam as vias aéreas intratorácicas e a região de troca gasosa. A fração respirável (partículas < 10 μm) consiste nas partículas da fração torácica que penetram além dos bronquíolos terminais e se depositam nos alvéolos, região da troca de gases dos pulmões (LIMA, 2007). A Figura 1 ilustra as curvas das frações inalável, torácica e respirável em função do diâmetro aerodinâmico da partícula, adotadas internacionalmente pela “American Conference of Governmental Industrial

Hygienists (ACGIH), International Organization for Standardization (ISO) e Comité Européen de Normalisation (CEN)”.

Figura 1 - Curvas das frações inalável, torácica e respirável em função do diâmetro aerodinâmico da partícula, adotadas internacionalmente pela ACGIH, ISO e CEN. Poeiras torácicas e respiráveis como subfrações da fração inalável.



Fonte: Santos (2005).

3.2.3 Exposição ocupacional

A poeira excessiva suspensa no ar e inalada pelos trabalhadores pode colocá-los em risco de desenvolver certas doenças ocupacionais. São muitos os trabalhos na literatura que estudam o efeito da poeira no local de trabalho e no desenvolvimento de doenças.

Souza e Quelhas (2003), em seu trabalho, avaliaram quantitativamente a poeira gerada por diversas atividades na construção civil a qual os trabalhadores

em canteiros de obra se expõem, e identificaram a necessidade de medidas de controle a fim de reduzir os impactos negativos na saúde do trabalhador.

Santos et al. (2007) estudaram as características da exposição ocupacional a poeiras no beneficiamento de rochas ornamentais em marmorarias e obtiveram informações sobre a quantidade de poeira presente no ambiente de trabalho através da coleta de amostras nas frações inalável, torácica e respirável.

Com o objetivo de determinar as características da poeira dos ambientes de trabalho em um processo de fabricação por via seca de placas cerâmicas esmaltadas, Lima (2007) mostrou que a exposição à poeira no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos representa um risco ocupacional.

Outro ambiente onde os trabalhadores estão expostos à poeira são as indústrias de mineração. Para conseguir manter um nível aceitável de poeira, utiliza-se muita água em forma de nebulizadores. Rufino (2011) propôs um método que pode ser utilizado para controlar o nível de poeira com o uso de sensores, sendo possível detectar o momento exato de acionamento dos nebulizadores, reduzindo assim o gasto de água e proporcionando um ambiente com limites aceitáveis de particulados de poeira em suspensão no ar, preservando a saúde do trabalhador local.

3.2.4 Riscos ao sistema agrário e de produção animal

A poeira pode ser um grande perigo para o sistema agrário, pois pode significar riscos de explosões e incêndios nos locais de armazenamento de grãos como silos e armazéns (ECKHOFF, 2015; OGLE; DILLON; FECKE, 2014). Segundo Silva (2012), essas explosões ocorrem devido ao acúmulo de pó em suspensão nos locais de armazenamento, geralmente chamadas de superfícies confinadas. Na presença de uma fonte de ignição e concentração de oxigênio, uma chama poderá ser formada.

As explosões ocorrem quando uma superfície de pó de grãos é aquecida até o ponto de liberação de gases de combustão que, com o auxílio de uma fonte de ignição, dá início ao incêndio (ECKHOFF, 2003).

Rangel Júnior (2008) apresentou uma discussão bem fundamentada sobre o perigo da poeira em ambientes confinados e afirmou que, quando o tamanho das partículas em suspensão for suficientemente pequeno, a maioria dos tipos de grãos é suscetível à explosão. Os motores, dispositivos de comando e luminárias podem gerar uma centelha (se não atenderem as normas técnicas de instalação) e nas condições descritas anteriormente podem ser a fonte de ignição que ocasionará a explosão.

Uma explosão também pode ser causada por carga elétrica estática que pode ser adquirida por uma pessoa ao entrar em contato com alguns materiais como um suéter de lã ou um tapete de nylon. Essa carga pode ser suficiente para produzir uma centelha, se esta pessoa, eletricamente carregada, aproximar a mão de um corpo aterrado, como a parede interna de um silo de armazenamento de grãos, por exemplo. Mesmo que a substância que esteja dentro dos silos não seja inflamável, quando pequenos grãos estão em suspensão no ar e, portanto cercados de oxigênio, podem queimar tão depressa que a nuvem de pó explode (RUFINO, 2011).

Na produção animal, a poeira também pode ser prejudicial por modificar a qualidade do ar, podendo causar danos à saúde dos animais e dos trabalhadores do local.

Nääs et al. (2007) determinaram a variação da qualidade da ambiência aérea em dois galpões criatórios de frangos de corte, verificando que os valores de poeira total, em ambos os galpões, ofereceram condições adequadas às aves; entretanto, as concentrações de poeira respirável no ar estiveram acima do limite recomendado para humanos.

Alencar, Naas e Gontijo (2004) observaram que os trabalhadores brasileiros que trabalham há mais de quatro anos em galpões de produção de frangos de corte com baixa mecanização tiveram uma redução na capacidade respiratória. O estudo recomenda o limite máximo de 5h/dia em permanência nas atividades dentro dos galpões.

Federici (2012) afirmou em seu trabalho que a concentração máxima de poeira recomendada para animais deve ser respeitada. No entanto, formas de monitoramento de baixo custo para os níveis de poeira em aviários de frangos de corte não estão disponíveis.

Além disso, a cama de frango usada em aviários também precisa ser monitorada. Quando esta estiver muito seca e poeirenta, poderá levar novos pintos a problemas como a desidratação, doenças respiratórias e aumento do número de mortes. A umidade relativa do ar deve ser mantida entre 20 a 25 por cento (RITZ; FAIRCHILD; LACY, 2009).

3.3 Métodos utilizados para medição do nível de poeira

Existem diversos métodos para coletar e analisar o nível de poeira em um ambiente. Alguns deles serão agora detalhados. A maior parte das amostragens de poeiras é realizada com o auxílio de uma bomba de amostragem, um porta-filtro (com o filtro adequado para o tipo de poeira que se pretende coletar), um separador de partículas (quando se deseja determinar o tamanho da partícula) (SANTOS, 2001).

3.3.1 Bombas de amostragem de poeira

É um dispositivo portátil que tem por função coletar a amostra de poeira a ser analisada. O volume de ar a ser analisado é aspirado e passa através dos filtros de coleta. Esses filtros podem ser levados diretamente para análise da poeira total ou o ar pode passar por um separador (com filtros coletores) que

seleciona as partículas por tamanho. Nessas bombas, pode-se configurar a vazão e o volume de ar coletado.

3.3.2 Sistema separador de partículas – Ciclone

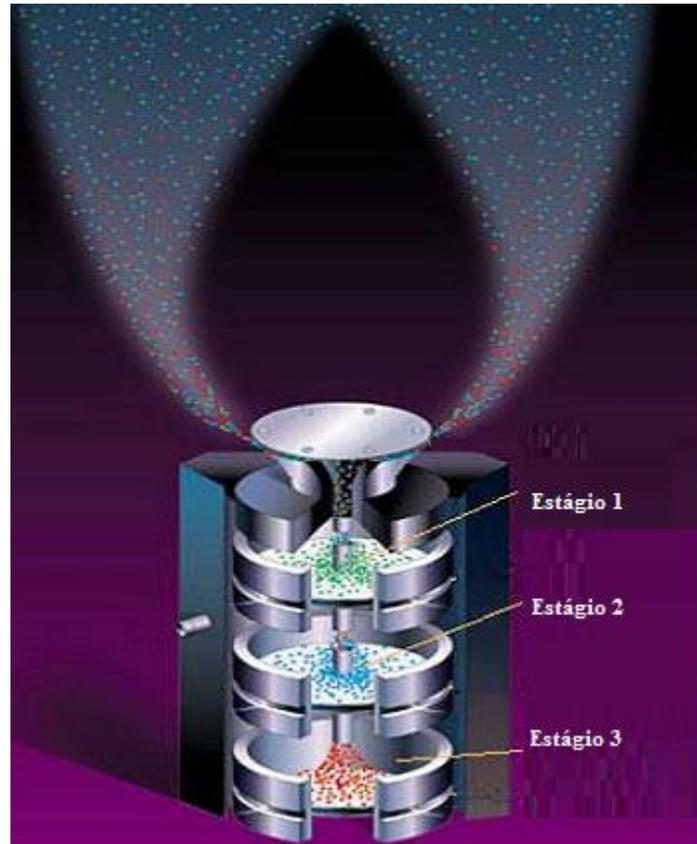
O ciclone é o separador de partículas mais antigo utilizado para a separação de partículas na faixa respirável. Esse equipamento funciona de maneira semelhante a uma centrífuga. A rápida circulação de ar dentro de sua câmara separa as partículas de poeira de acordo com seu diâmetro aerodinâmico equivalente. As partículas de poeira respirável são coletadas sobre um filtro enquanto as partículas maiores são recolhidas em um recipiente acoplado ao ciclone (SANTOS, 2001).

3.3.3 Sistema separador de partículas - Impactador virtual

É um instrumento capaz de separar as partículas de poeira nas frações inalável, torácica e respirável. Este amostrador é composto por três filtros de coleta e a separação em cada estágio é controlada por um orifício de fluxo.

Como pode ser visto na Figura 2, os filtros dos estágios 1 e 2 possuem um orifício central que permite a passagem das partículas pelo tubo coletor já o filtro final do estágio 3 não possui orifício. Sendo assim, o material coletado no filtro do estágio 1 corresponde à fração respirável da poeira, a soma dos materiais coletados nos filtros dos estágios 1 e 2 corresponde à fração torácica e a soma dos materiais coletados nos filtros 1, 2 e 3 corresponde à fração inalável (SANTOS, 2005).

Figura 2 - Amostrador de partículas Respicon da TSI.



Fonte: Santos (2005).

3.3.4 Análise gravimétrica de poeira

Segundo Santos (2005), a gravimetria é a técnica mais usada para a análise de amostras de poeira coletada em ambientes de trabalho. Essa análise tem o objetivo de determinar a massa de poeira coletada sobre filtros de membrana (filtros virgens utilizados para coleta de amostras). O filtro de coleta é pesado antes e depois da amostragem em ambiente com temperatura e umidade do ar controladas, determinando-se, assim, a massa de poeira por diferença.

Este método não consegue separar as frações da amostra (inalável, torácica e respirável), pois determina a massa de qualquer material particulado

que possa ser retido no filtro. A concentração de poeira suspensa no ar é calculada através da divisão do valor da massa de poeira retida no filtro pelo valor do volume de ar amostrado.

3.3.5 Análise por microscopia ótica e microscopia eletrônica

Segundo Santos (2001), a microscopia ótica é uma técnica analítica muito utilizada para medição de tamanho da partícula. Essa técnica é capaz de fornecer informações sobre o tamanho, forma, cor, índice de refração e cristalografia. O microscópio ótico é indicado para identificação e medição de tamanhos de partículas na faixa de diâmetro entre 0,8 e 20 micrometros.

Ainda de acordo com Santos (2001), a microscopia eletrônica permite a observação, contagem e medição de tamanho de partículas cerca de 0,001 micrometros, sendo então melhor que o microscópio ótico. Detalhes da superfície das partículas depositadas sobre um filtro podem ser observados com clareza, profundidade de foco e alta magnificação. Essa técnica examina a superfície da amostra, fornecendo informações sobre tamanho, forma, textura e topografia da superfície. A principal razão para a sua utilização é a alta resolução obtida quando as amostras são examinadas. Uma importante característica da microscopia eletrônica é a aparência tridimensional da imagem da amostra, que é um resultado direto da grande profundidade de foco, além do efeito de contraste produzido pelo realce de sombras.

Tanto a microscopia ótica quanto a eletrônica são utilizadas como ferramentas de ampliação das partículas, utilizando as melhores condições de visualização para posterior tratamento e medição por programas computacionais de análise de imagem. A análise pode ser executada para avaliar a imagem por inteiro, como por exemplo, a contagem do número de partículas, e para avaliar detalhes individuais de cada partícula dentro da imagem, como por exemplo, medições de tamanho, forma, posição e brilho.

3.3.6 Medição por espalhamento da luz

Baseando-se no efeito da polarização por espalhamento da luz infravermelha, Rufino (2011) projetou um conjunto detector/interface gráfica capaz de detectar, medir e monitorar partículas sedimentáveis em suspensão no ar. O princípio utilizado para o desenvolvimento desse trabalho foi a teoria de Espalhamento *Rayleigh*, apropriada para estudar a dispersão da luz por partículas muito menores que o comprimento de onda da luz incidente. Os raios infravermelhos emitidos por um fotodiodo atingem os particulados em suspensão permitindo ao receptor, um fototransistor, receber a luz espalhada por essas partículas em suspensão. Analisando os valores de tensão recebidos, é possível determinar o percentual correspondente de partículas em suspensão. Rufino (2011) conseguiu medir as partículas em suspensão dentro de um tubo de PVC, porém, não conseguiu quantificar as partículas dispersas em um ambiente aberto nem as partículas que são depositadas em uma superfície.

3.3.7 Medição por sensor infravermelho

Este sensor é composto por um emissor (fotodiodo) e um receptor (fototransistor) de luz infravermelha. Normalmente o fotodiodo emite os pulsos de raios infravermelhos com uma determinada intensidade e o fototransistor é configurado para receber esses pulsos. À medida que a poeira vai sendo depositada sobre o receptor, ocorre o bloqueio dos raios infravermelhos e quanto maior a quantidade de poeira depositada aumenta também o bloqueio desses raios (RUEDA; SANTOS; RABELO, 2006).

3.4 Métodos para análise de imagem

O processamento de imagens digitais vem cada vez mais ganhando espaço no meio científico.

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional $f(x,y)$ em que x e y são coordenadas planas, e a amplitude de f em qualquer par de

coordenadas (x,y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem naquele ponto. Quando (x,y) e a amplitude de f fazem parte de um conjunto de valores finitos, ou discretos, a imagem é chamada de imagem digital (GONZALES; WOODS, 2002).

Uma matriz pode ser usada para representar qualquer imagem digital sendo que, cada elemento da matriz, será a $f(x,y)$ ou seja, a intensidade ou nível de cinza da imagem naquele referido ponto. Esses elementos que compõem a matriz são chamados de *pixels*. Nas imagens em preto e branco, o *pixel* pode assumir o valor 0 ou 1 e para as imagens em tons de cinza os valores dos *pixels* podem assumir qualquer valor entre 0 e 255 e, nas imagens coloridas, o *pixel* será representado por três valores, cada um deles variando entre 0 e 255.

O processo de análise e medição da imagem é composto pelas seguintes etapas: aquisição, digitalização, processamento, edição, análise, tratamento e apresentação de dados.

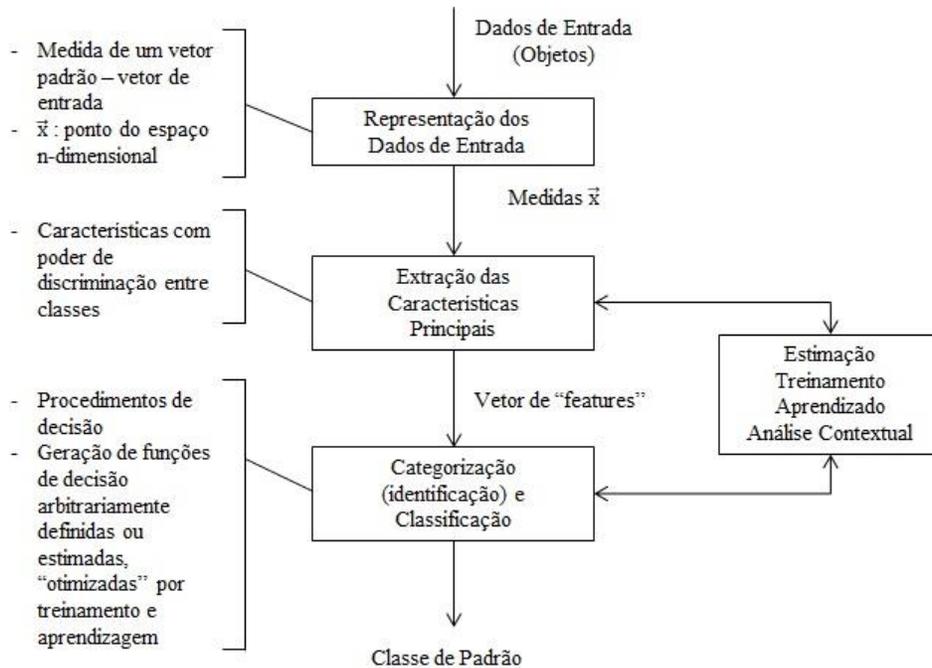
Serão apresentados alguns dos métodos utilizados para a análise de imagens e que poderão ser aplicados neste trabalho para a classificação da poeira.

3.4.1 Reconhecimento de padrões

Castro e Prado (2002) definiram reconhecimento de padrões como um procedimento utilizado para fazer a identificação de certas estruturas nos dados de entrada comparando-se com estruturas conhecidas e classificando-as dentro de determinadas categorias, de forma que o grau de associação seja maior entre estruturas de mesma categoria e menor entre as categorias de estruturas diferentes.

As fases do procedimento de reconhecimento de padrões pode ser mais bem entendida através da Figura 3.

Figura 3 - Fases do reconhecimento de padrões.



Fonte: Castro e Prado (2002).

Três abordagens podem ser definidas no projeto de reconhecimento de padrões: rol de membros (“*template matching*”), propriedades comuns (“*feature matching*”) e agrupamento (“*clustering matching*”). Na abordagem por rol de membros, a caracterização de padrões é feita através de comparações entre uma lista de padrões e um modelo previamente armazenado. Na abordagem por propriedades comuns, os padrões que pertencem a uma mesma classe possuem propriedades comuns, identificando essa classe. Desta forma, quando ao classificar um padrão desconhecido observam-se suas características e faz uma comparação com as demais classes e este novo padrão será classificado em uma das classes existentes ou então pertencerá a uma nova classe. A abordagem por agrupamento é utilizada quando os padrões de uma classe são vetores cujos componentes são números reais. A classe do padrão pode ser estabelecida

segundo formas do agrupamento desses pontos no plano. Algumas técnicas podem ser utilizadas nessa classificação como a “distância-mínima”, classificação por funções similares (métodos estatísticos), por treinamento de padrão (métodos determinísticos) ou outros algoritmos mais adequados (CASTRO; PRADO, 2002).

O reconhecimento de padrões pode ser supervisionado ou não supervisionado. Ele será supervisionado quando há uma disponibilidade de padrões que representem cada classe e o sistema é “treinado” para reconhecer padrões através de esquemas de adaptação. *Perceptron* e erro quadrático mínimo são algoritmos utilizados no reconhecimento supervisionado. Já no reconhecimento não supervisionado, a classificação dos padrões é desconhecida, ou seja, não existe nenhuma informação anterior sobre as classes. A classificação de um determinado agrupamento em algum padrão depende do algoritmo empregado, seguindo critérios de similaridade.

A literatura apresenta vários algoritmos utilizados para a classificação de padrões como: similaridade máxima, limiar simples (*threshold algorithm*), *maximin*-distância, *K-means*, ISODATA (CASTRO; PRADO, 2002).

Outras técnicas utilizadas para o processamento de imagens digitais e reconhecimento de padrões são os métodos de análise por componentes principais (GODINHO et al., 2008), análise discriminante de *Fisher* (AMORIM; PISTORI, 2007) e o algoritmo de agrupamento SOM (*self-organized maps*) que se refere a uma rede neural artificial (algoritmo de aprendizagem não supervisionado) (GONÇALVES et al., 2011).

3.4.2 Diferencial de imagens e imagens simultâneas

Para a detecção de chuva em para-brisas de carros com a finalidade de acionamento automático do limpador, são utilizados dois tipos de sensores que utilizam o método de detecção e análise de imagens.

O sensor por diferencial de imagens utiliza o princípio da comparação de imagens sucessivas captadas com recurso à iluminação pulsada da superfície interior do para-brisa, onde a presença das gotas causa uma reflexão característica e única. Ao subtrair essas duas imagens encontra-se a reflexão das gotas de água sobre o vidro (HOCHSTEIN, 2003a).

O sensor por imagens simultâneas foi desenvolvido para suprir algumas limitações do sensor por diferencial de imagens, principalmente na rapidez de funcionamento. Foi utilizado um dispositivo de captação de imagem (CCD) constituído por dois tipos de *pixels*, em que cada tipo de *pixel* é sensível à radiação com um determinado comprimento de onda, fazendo com que o sensor consiga captar duas imagens simultaneamente (HOCHSTEIN, 2003b).

3.4.3 *Speckle laser*

Quando uma superfície é iluminada por uma luz coerente, sua imagem é constituída por grãos brilhantes distribuídos aleatoriamente os quais podem ser chamados de *speckle* (ZANETTA; FACCHINI, 1993). Este fenômeno é resultado de alterações na fase da luz incidente, produzidas por movimentos de pontos dispersores e mudanças no índice de refração.

O *speckle laser* é um fenômeno óptico que ocorre quando a luz de uma fonte coerente, por exemplo, um *laser*, ilumina um objeto que exhibe algum tipo de atividade ou processo dinâmico. É uma técnica muito utilizada para análise de imagens podendo o material iluminado ser biológico ou não. Para os casos que o interesse é analisar o comportamento de materiais biológicos, essa técnica passa a ser chamada de *biospeckle laser*.

Trabalhos utilizando o *biospeckle laser* estão sendo realizados por muitos autores para diversas finalidades, dentre eles a análise da atividade biológica em tecidos vegetais (BRAGA et al., 2009), em culturas agrícolas

(ZDUNEK et al., 2014) e na avaliação do sêmen de animais (CARVALHO et al., 2009).

O *laser*, sendo uma luz coerente, ao iluminar o material forma um padrão de *speckle* estático ou não, dependendo da atividade do material que está sendo iluminado. Quanto mais atividade estiver presente no material iluminado, mais dinâmico será o padrão de *speckle*.

Para analisar essa dinâmica do padrão de *speckle*, pode-se utilizar técnicas gráficas ou numéricas. Graficamente são gerados mapas que indicam a variação espacial da atividade no material e numericamente são gerados valores que definem essa atividade.

3.4.4 Método das diferenças generalizadas (DG)

Esse é um método de análise gráfica no qual um número pré-definido de imagens são coletadas consecutivamente por uma câmera e o método das diferenças generalizadas consiste em realizar uma soma das diferenças de intensidades entre uma imagem inicial e todas as outras imagens adquiridas em um determinado período de observação.

Autores como Freitas (2010), Humeau-Heurtier, Mahé e Abraham (2015), Minz e Nirala (2014) utilizaram em seus trabalhos o método DG. Esse método foi apresentado por Arizaga et al. (2002) e Arizaga, Trivi e Rabal (1999) sendo uma alternativa mais simplificada ao método de Fujii (FUJII et al., 1985, 1987) podendo ser definido pela Equação 1:

$$DG(s) = \sum_j \sum_i |x_j - x_{j+i}| \quad (1)$$

Sendo x_j a intensidade luminosa de cada *pixel* da imagem e j a referenciada posição na pilha de imagens. O valor de x_j é subtraído de todos os outros valores na mesma posição. O somatório indica que todas as subtrações

realizadas são somadas às anteriores conseguindo assim uma média em relação a todas as imagens adquiridas. Se j é fixo e i é variável então x_{j+i} é a matriz de intensidade de imagens sucessivas na sequência de imagens após x_j .

A sequência s é a evolução de valores de um *pixel* ao longo das imagens capturadas. O resultado $DG(s)$ será uma nova imagem após a aplicação da técnica em um conjunto de imagens, com um clareamento dos *pixels* que apresentarem mudanças de intensidade (MOREIRA, 2013).

3.4.5 Coeficiente de correlação (ρ)

O coeficiente de correlação refere-se a uma medida do grau de relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias.

A definição utilizada por Zanetta e Facchini (1993) propõe o cálculo da correlação ponto a ponto entre as intensidades de dois padrões de *speckle*. Sendo I_1 e I_2 os valores de intensidade para um único ponto na imagem em dois valores de tempo diferentes t_1 e t_2 . Se a intensidade média é representada por m e o desvio padrão $\sigma = m$, o coeficiente de correlação ρ é expresso pela Equação 2:

$$\rho = 1 - \frac{\langle (I_1 - I_2)^2 \rangle}{2m^2} \quad (2)$$

Em que os colchetes angulares indicam a operação de cálculo da média que deve ser calculada ao longo de muitas imagens para cada ponto.

O valor do coeficiente de correlação será um número entre 0 e 1. Se I_1 e I_2 são idênticos então existe correlação total entre essas variáveis e o coeficiente de correlação $\rho = 1$, caso contrário, quando as variáveis são totalmente diferentes dizemos que elas são não correlacionadas e $\rho = 0$.

Ansari e Nirala (2013b) utilizaram o método de correlação para analisar a atividade do *biospeckle* em três tipos de frutas e concluíram que há uma mudança gradual e significativa no valor do coeficiente de correlação sendo que

este diminui à medida que aumenta o período de armazenagem das frutas significando um decréscimo da atividade biológica.

Fricke-Begemann et al. (1999) mediram através do coeficiente de correlação as taxas de corrosão de amostras de ferro com diferentes rugosidades na superfície e concluíram que a alta sensibilidade desse método estatístico permitiu detectar quantitativamente as mudanças na superfície das amostras de ferro depois de apenas alguns minutos do tempo de corrosão.

3.4.6 Momento de inércia (MI)

O método do momento de inércia é uma das técnicas utilizadas na análise do fenômeno do *biospeckle laser* como mostrado nos trabalhos de Ansari e Nirala (2014), Arefi et al. (2016), Botega (2009), Cardoso (2011), Nobre (2008) e Rabelo, Braga Júnior e Fabbro (2005).

É um método estatístico de segunda ordem que classifica uma variação da atividade (baixa ou alta) em um conjunto de imagens por meio de um número adimensional. O primeiro passo é a construção e análise da história temporal do padrão de *speckle* THSP (*time history speckle pattern*). O THSP é uma imagem bidimensional que representa como uma linha ou coluna da imagem que está variando no tempo. A construção do THSP proposta por Oulamara, Tribillon e Duvernoy (1989) e Xu, Joenathan e Khorana (1995) consiste na aquisição de uma linha ou coluna sempre na mesma posição em cada imagem capturada em dados intervalos de tempo. Cada uma dessas linhas é colocada lado a lado e sequencialmente em uma mesma imagem formando o THSP, que possui as dimensões (MxN) em que M é a dimensão da linha e N é o número de imagens utilizadas. O eixo horizontal do THSP representa a evolução temporal dos *pixels* selecionados e o vertical representa a distribuição espacial dos padrões de interferência.

Se o resultado do THSP apresentar uma figura completamente distorcida, significa que o movimento das partículas está muito intenso. Por outro lado, se a figura formada for composta por linhas bem definidas, significa que não está ocorrendo mudança de uma imagem para outra, repetindo sempre o mesmo nível de cinza de antes.

A técnica do momento de inércia (MI) consiste na quantificação da variação de um THSP e para isso as imagens adquiridas em instantes diferentes devem ser transformadas em uma matriz de ocorrência (MOC) (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999). Essa matriz pode ser definida pela Equação 3:

$$\text{MOC} = [\text{Nij}] \quad (3)$$

Sendo (Nij) o número de ocorrências de intensidades e (i,j) são os valores de intensidades sucessivas.

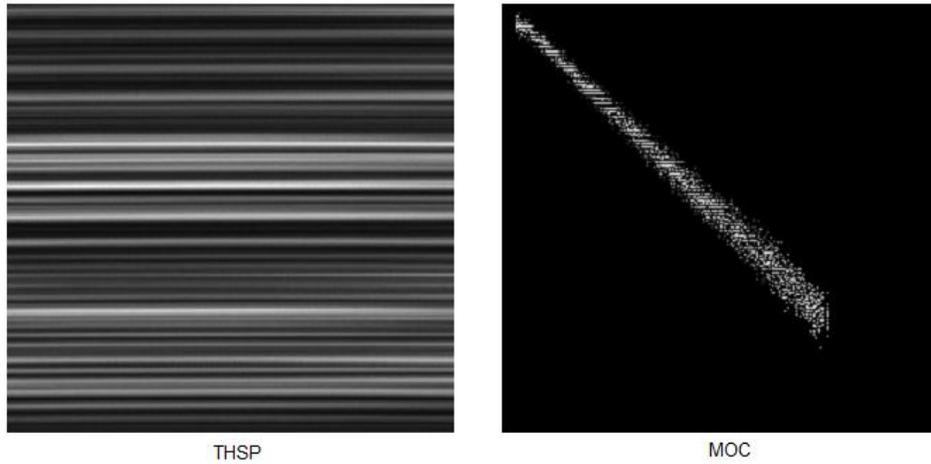
As imagens de THSP são constituídas por *pixels* em níveis de cinza codificados em oito *bits*, ou seja, 256 diferentes tons de cinza. Convencionou-se que o preto é o valor 0, e o branco o valor 255. As intensidades de cinza variam de 0 a 255 fazendo com que a MOC seja uma matriz de 256 x 256 posições.

A diagonal principal da matriz de ocorrência está relacionada com as intensidades que não variaram no tempo e fora dessa diagonal estão as ocorrências que representam uma mudança no tempo. Quanto mais afastada a ocorrência estiver da diagonal principal, maior a mudança na intensidade do *pixel* i para o *pixel* j. Essa relação indica também o nível de intensidade, quanto maior a incidência de valores não nulos fora da diagonal principal da MOC, maior a atividade nesse material.

Na Figura 4, há uma representação de um THSP e a matriz de ocorrências (MOC) representando uma superfície praticamente inativa. Já a

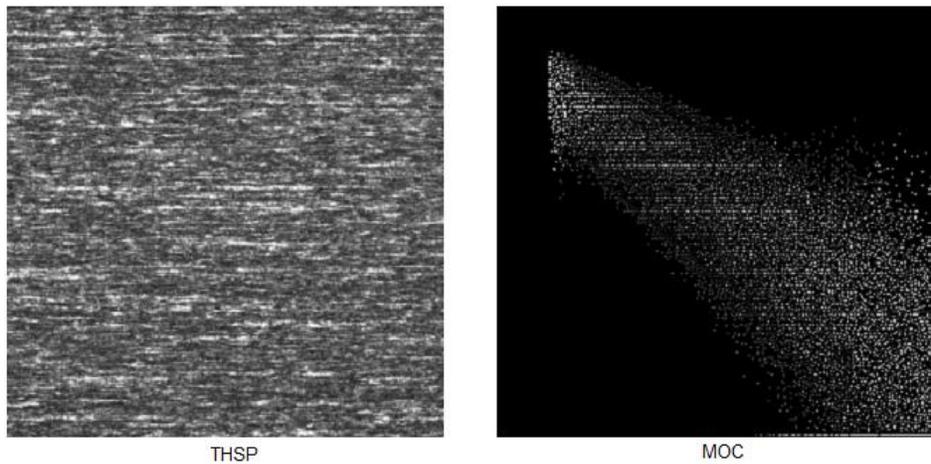
Figura 5 refere-se a um THSP e MOC de uma superfície com um elevado grau de atividade.

Figura 4 - Exemplo de THSP e a matriz MOC correspondente para uma amostra de baixa atividade.



Fonte: Rabelo (2000).

Figura 5 - Exemplos de THSP e a matriz MOC correspondente para uma amostra de alta atividade.



Fonte: Rabelo (2000).

O MI é calculado através do somatório dos produtos dos valores de intensidade da matriz pelo quadrado da distância entre cada elemento da matriz e a diagonal principal (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999), conforme mostrado na Equação 4.

$$MI = \sum N_{ij}(i - j)^2 \quad (4)$$

Em que:

i - intensidade luminosa (linha)

j - intensidade luminosa (coluna)

N_{ij} – número de ocorrência, valor da matriz na posição (linha i, coluna j)

Quando há uma alta atividade no material analisado, os valores que estão fora da diagonal principal contribuem mais para o valor do MI do que os valores que estão mais próximos da diagonal principal sendo possível obter um valor maior do número adimensional representado pelo MI, ou seja, aumentar o valor do MI indica aumento da atividade e diminuir o valor do MI significa uma redução na atividade.

Ansari e Nirala (2013a) utilizaram o momento de inércia para analisar a atividade biológica de três tipos de frutas indianas e tiveram um resultado satisfatório notando que o valor de MI varia tanto com a frequência quanto com o amadurecimento das frutas, comportando-se de forma diferenciada para cada tipo de fruta observada.

Rabelo et al. (2011) realizaram um estudo em sementes de feijão para verificarem a possibilidade de detectar, através do momento de inércia, uma contaminação por fungo nas sementes analisadas e também qual tipo de fungo seria mais prejudicial. O MI conseguiu detectar diferentes tipos de fungos, sendo bastante útil em análises de sementes utilizando o *biospeckle laser*.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos deste trabalho foram realizados no laboratório do Centro de Desenvolvimento e Instrumentação Aplicada à Agropecuária (CEDIA), localizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Minas Gerais.

A metodologia foi dividida nas seguintes etapas: montagem das superfícies de teste; realização do experimento; análise das imagens e identificação do melhor método a ser utilizado; validação do método.

4.1 Montagem das superfícies de teste

Foram montadas duas superfícies de teste, uma para avaliar a poeira que fica depositada sobre a superfície (FIGURA 6) e a outra para a poeira em suspensão (FIGURA 7). Realizaram-se os pré-testes para ajuste da configuração dos protótipos e verificação de qual metodologia seria mais aplicável para a interpretação dos resultados.

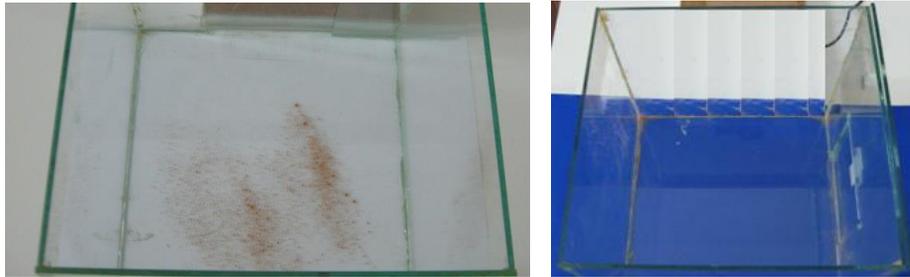
A poeira utilizada nos experimentos foi terra extraída da camada superficial de estradas rurais e posteriormente peneirada por tecido utilizado na confecção de meia-calça feminina.

As condições de temperatura e umidade do ar, aproximadamente 21 °C e 55%, respectivamente, foram mantidas durante todos os experimentos.

A Figura 6 mostra a caixa de vidro em formato quadrado que foi utilizada para o experimento da poeira depositada na superfície, esta caixa foi colocada sobre uma mesa com duas cores de fundo, branca e azul, e uma câmera foi disposta acima para capturar as imagens. A escolha da cor branca foi para obter uma clareza máxima nas imagens e o fundo de cor azul foi utilizado por se tratar de uma cor complementar à cor da poeira permitindo um melhor contraste e, portanto, um melhor resultado nas imagens.

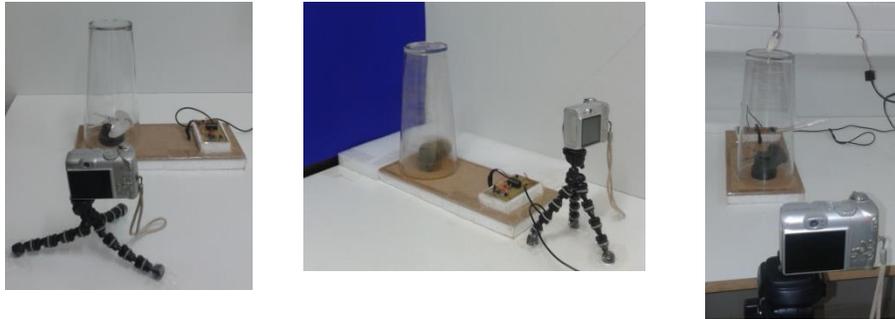
O experimento para analisar a poeira em suspensão foi montado conforme a Figura 7, utilizando um vidro em formato de um tronco de cone fixado sobre uma base onde um ventilador foi acoplado. Este quando acionado manteve a poeira em suspensão. Foram capturadas, por uma câmera, imagens utilizando um fundo branco, um azul e ainda com iluminação *laser*.

Figura 6 - Montagem do experimento para poeira depositada na superfície com fundo branco e azul.



Fonte: Do autor (2016).

Figura 7 - Montagem do experimento para poeira suspensa com fundo branco, azul e com iluminação *laser*.



Fonte: Do autor (2016).

Nos experimentos com poeira depositada na superfície e poeira em suspensão, optou-se por utilizar o vidro, pois era necessário o uso de um material transparente que permitisse capturar as imagens (vidro ou plástico) e

através de testes preliminares constatou-se que o vidro era o que tinha mais características de material antiestático, diminuindo a atração das partículas de poeira pela superfície. Para a aquisição das imagens, foi utilizada uma câmera CCD (Dispositivo de Carga Acoplada) de uso doméstico da marca Canon 8 Megapixels com resolução de 3264x2448, programada com ISO 200 para capturar as imagens em intervalos de 1 segundo entre imagens. As imagens foram gravadas em um cartão de memória SD acoplado à câmera e depois transferidas para um microcomputador com processador Intel Core i7 e 16 GB de memória RAM, responsável pelo processamento das imagens.

Para manter as partículas em suspensão, foi construída uma base com um ventilador simples de mesa, com alimentação USB e velocidade nominal de 2.400 rpm.

Um *laser* HeNe vermelho (633nm) de 3mW de potência foi acoplado ao vidro e responsável pela iluminação da amostra de poeira em suspensão.

4.2 Realização do experimento

O experimento foi realizado em duas etapas: poeira depositada e poeira em suspensão. Na primeira etapa, a amostra de pó foi espalhada manualmente sobre a superfície e, para a realização da segunda etapa do experimento, houve uma simulação da dispersão das partículas de poeira através de um ventilador que foi utilizado para espalhar o pó no recipiente e mantê-lo em suspensão.

A quantidade da amostra de pó utilizada nas simulações foi pesada utilizando uma balança analítica com capacidade de 320 g e precisão 0,001 g da marca Marte modelo BL320H, Figura 8.

Figura 8 - Balança analítica utilizada para pesagem das amostras.



Fonte: Do autor (2016).

Na primeira etapa, foi feito um experimento para analisar as partículas depositadas sobre a superfície. Esse experimento foi realizado utilizando como configuração de *setup* o fundo branco e, após as amostras serem pesadas utilizando a balança de precisão, espalhou-se manualmente o pó sobre a superfície conforme a variação apresentada na Tabela 1 (a quantidade de pó de cada amostra foi determinada de maneira aleatória). Para cada amostra, foram capturadas 100 imagens com intervalo de 1 segundo entre elas e repetiu-se esse experimento três vezes. Em seguida, substituiu-se o fundo branco pelo azul por se tratar de uma cor complementar à cor da poeira, permitindo melhor contraste e, portanto, melhor resultado nas imagens. Com imagens foram capturadas de cada amostra, com três repetições.

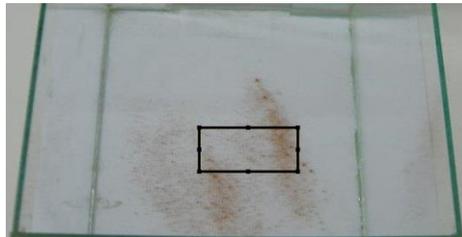
Tabela 1 - Quantidade de pó das amostras do experimento com poeira depositada.

Amostras (pó)	Quantidade (g)
1	0,0
2	0,1
3	0,2
4	0,3
5	0,4
6	0,5

Fonte: Do autor (2016).

As imagens foram processadas pelo *software* MatLab utilizando a metodologia do momento de inércia (MI). A área da imagem escolhida para a análise está demarcada pelo retângulo preto na Figura 9 resultando em uma imagem de 208 linhas e 468 colunas. A mesma área foi demarcada quando o fundo azul foi utilizado. O cálculo do MI foi realizado para 12 linhas dentro dessa área demarcada. A área demarcada encontra-se na região central para uma melhor representação da distribuição da poeira na superfície.

Figura 9 - Área demarcada para análise da poeira.



Fonte: Do autor (2016).

Na segunda etapa, foram realizados quatro experimentos para analisar as partículas em suspensão, foram testadas três configurações de *setup*: fundo branco, azul, e com iluminação *laser*.

Para os fundos branco e azul, pesou-se o pó e colocou-o no fundo do recipiente fechando o vidro e utilizando a base com o ventilador para cima. Em seguida, ligou-se o ventilador com a velocidade nominal (2400 rpm) para espalhar a poeira e virou-se a base (deixando o ventilador em baixo) mantendo as partículas em suspensão com uma velocidade de 1/4 da velocidade nominal (600 rpm) pois foi essa a velocidade que possibilitou a melhor dispersão das partículas dentro do recipiente. Controlou-se essa velocidade utilizando um circuito PWM (modulação por largura de pulso). A Figura 10 refere-se ao circuito PWM e ao vidro já na posição que mantém as partículas de poeira em suspensão enquanto o ventilador estiver ligado.

Figura 10 - Circuito PWM para controle de velocidade.



Fonte: Do autor (2016).

O primeiro experimento realizado utilizando o protótipo que mantém a poeira em suspensão usou apenas o *setup* com fundo branco. Foram capturadas cem imagens para cada amostra de poeira com intervalo de 1 segundo entre imagens. Para a análise das imagens, foi utilizado o método do momento de inércia (MI) e, para o cálculo da matriz THSP, foram escolhidas uma linha (1.280) e uma coluna (760) conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Escolha da linha e coluna na imagem para o cálculo do valor de MI.



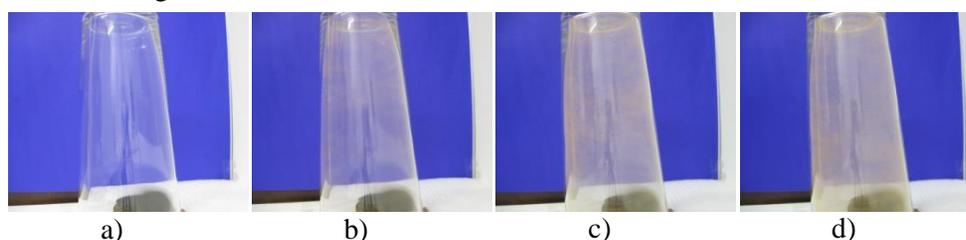
Fonte: Do autor (2016).

O segundo experimento foi realizado, dessa vez, utilizando o *setup* com fundo branco e depois com fundo azul. No experimento para analisar a poeira

depositada na superfície, verificou-se que utilizando o fundo de cor azul era possível conseguir um resultado mais homogêneo para os valores de MI. Portanto, objetivou-se com o segundo experimento analisar o comportamento da poeira em suspensão utilizando os fundos de cor azul e branca.

O experimento foi realizado com três repetições mantendo as mesmas condições de temperatura e umidade do ar (21 °C e 55% respectivamente) e, para cada ensaio, foram realizadas quatro variações da quantidade de poeira dentro do recipiente. A câmera foi programada para realizar 99 disparos, para cada amostra de poeira, resultando em imagens como as ilustradas na Figura 12.

Figura 12 - Imagens obtidas utilizando o fundo de cor azul para as 4 amostras de poeira, sendo: (a) 0 grama, (b) 0,2 gramas, (c) 0,35 gramas, (d) 0,5 gramas.



Fonte: Do autor (2016).

Os dois experimentos seguiram a configuração da Tabela 2 (a quantidade de pó de cada amostra foi determinada de maneira aleatória).

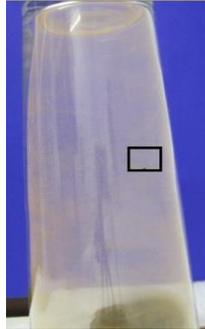
Tabela 2 - Quantidade de pó das amostras do experimento 1 e 2 com poeira em suspensão para os fundos branco e azul.

Amostras (pó)	Quantidade (g)
1	0,00
2	0,20
3	0,35
4	0,50

Fonte: Do autor (2016).

Para evitar distorções, reflexo e outros efeitos indesejáveis na imagem, optou-se por selecionar apenas uma amostra mais uniforme para análise, conforme apresentado na Figura 13 pela área demarcada em preto. A mesma área foi selecionada em todas as imagens, para o fundo azul e o fundo branco. A área selecionada para análise é de 188 x 124 *pixels* e a linha 70 foi escolhida para ser observada.

Figura 13 - Área definida para análise (retângulo preto).



Fonte: Do autor (2016).

Antes de aplicar o método do momento de inércia nas imagens desse experimento, foi realizada uma análise para verificar a evolução do valor dos *pixels* ponto a ponto ao longo da linha escolhida na área demarcada na imagem (linha 70). Calculou-se o valor do *pixel* em cada ponto da linha escolhida para análise realizando a média aritmética das 99 imagens capturadas pela câmera.

Como a área selecionada na imagem para ser analisada é de tamanho 188x124 (188 *pixels* de largura por 124 de altura), então teremos 188 valores para o *pixel* ao longo da linha que estivermos observando. Se tivesse sido escolhida uma coluna ao invés de uma linha ter-se-ia 124 valores para o *pixel*.

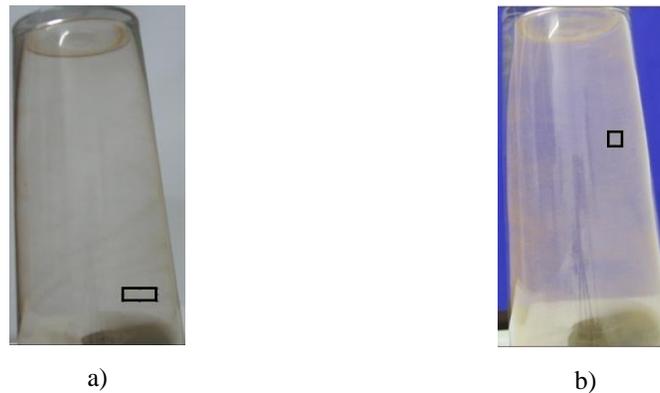
O objetivo dessa análise é verificar como se comporta os valores da intensidade dos *pixels* quando há um acréscimo de poeira visto que a cor observada muda na presença ou ausência de poeira.

Após realizar essa análise, o método do momento de inércia foi novamente utilizado.

Os valores de MI foram obtidos apenas com as imagens da primeira repetição do experimento, tanto para o fundo branco quanto para o azul.

A Figura 14 (a e b) demonstra a região demarcada para o cálculo do valor de MI utilizando fundos branco e azul respectivamente (a área demarcada é escolhida de maneira aleatória). Vale lembrar que foram capturadas 99 imagens para cada amostra de poeira em suspensão e foram utilizadas quatro amostras (0; 0,2; 0,35 e 0,5 gramas).

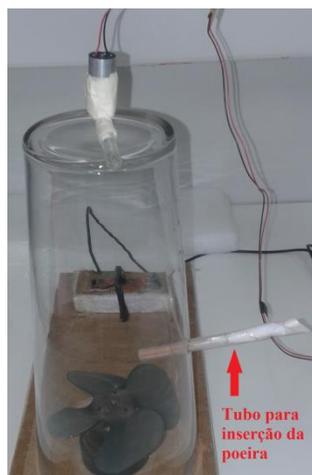
Figura 14 - Regiões demarcadas para o cálculo do MI utilizando fundo branco (a) e azul (b).



Fonte: Do autor (2016).

No terceiro experimento utilizou-se a iluminação *laser* e modificou-se a forma de inserir o pó dentro do recipiente. Neste caso o vidro ficava constantemente fixado na base com o ventilador ligado e, através de um furo lateral, inseriu-se um tubo para introduzir as amostras de pó no interior do recipiente conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - *Setup* do experimento com iluminação *laser* e o detalhe para inserção da poeira.



Fonte: Do autor (2016).

Foram capturadas com imagens para cada amostra mantendo o intervalo de 1 segundo entre imagens. As amostras variaram conforme a Tabela 3 (a quantidade de pó de cada amostra foi determinada de maneira aleatória).

Tabela 3 - Quantidade de pó das amostras do experimento 3 com poeira em suspensão com iluminação *laser*.

Amostras (pó)	Quantidade (g)
1	0,0
2	0,1
3	0,2
4	0,3

Fonte: Do autor (2016).

O método para analisar os resultados foi novamente o valor do momento de inércia (MI). A Figura 16 refere-se à região demarcada para análise.

Figura 16 - Retângulo branco para o cálculo do MI.



Fonte: Do autor (2016).

Um método gráfico de análise de imagens também foi utilizado neste experimento, sendo este o método das diferenças generalizadas (DG) juntamente com o cálculo do coeficiente de correlação para quantificar a diferença entre as imagens fornecidas pelo DG.

Para aplicar o método DG, utilizou-se sempre a quantidade de 100 imagens, sendo 50 imagens da amostra de 0 grama e 50 imagens da amostra com certa quantidade de poeira.

Após o resultado obtido para esta configuração de *setup*, foi realizado o quarto experimento mantendo o mesmo *setup*, mas variando a amostra de poeira em quantidades menores conforme a Tabela 4 (a quantidade de pó de cada amostra foi determinada de maneira aleatória).

Tabela 4 - Quantidade de pó das amostras do experimento 4 com poeira em suspensão com iluminação *laser*.

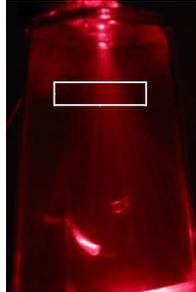
Amostras (pó)	Quantidade (g)
1	0,00
2	0,02
3	0,04
4	0,06
5	0,08
6	0,10
7	0,12
8	0,14
9	0,16
10	0,18
11	0,20
12	0,22
13	0,24
14	0,26
15	0,28
16	0,30

Fonte: Do autor (2016).

Nesse experimento o objetivo foi diminuir o intervalo entre as amostras, verificando como seria a eficácia dos métodos MI, DG e coeficiente de correlação na identificação de quantidades menores de poeira em suspensão, visto que na seção anterior a variação entre amostras era de 0,1 gramas e optou-se em reduzir a quantidade para 0,02 gramas.

Foram capturadas 50 imagens de cada amostra com intervalo de 1 segundo entre imagens e com um incremento de 0,02 g, até atingir os valores da última amostra que era de 0,3 g. As análises foram feitas pelos métodos do cálculo do MI, DG e coeficiente de correlação. A Figura 17 define a região escolhida para o cálculo do MI.

Figura 17 - Região demarcada para o cálculo do MI



Fonte: Do autor (2016).

Todos os experimentos realizados anteriormente utilizaram a poeira mineral como o material em suspensão dentro do recipiente de vidro utilizado como protótipo.

Visando analisar a eficácia dos métodos de processamento de imagens MI, DG e coeficiente de correlação para quantificar outro tipo de material em suspensão, foi realizado outro experimento, dessa vez utilizando talco.

O material foi inserido dentro do vidro através do tubo fixado em sua lateral e a iluminação com o *laser* de HeNe foi realizada, como demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Experimento realizado com iluminação *laser* e o detalhe lateral do tubo para inserção do talco. Em branco a área demarcada para aplicação do método MI.



Fonte: Do autor (2016).

Foram utilizadas sete amostras, sendo a primeira de 0 g e a última de 0,12 g, com a variação de 0,02 g entre amostras (a quantidade de talco de cada amostra foi determinada de maneira aleatória). Foram capturadas 50 imagens para cada amostra com um intervalo de 1 segundo entre imagens.

Para o cálculo do MI, foi demarcada uma região representada em destaque com cor branca na Figura 18 e para a aplicação do método, escolheu-se a linha 70 dentro dessa área demarcada.

Para aplicar o método gráfico DG, utilizou-se 25 imagens da amostra de 0 g e 25 imagens de cada uma das outras amostras com certa quantidade de talco.

4.3 Análise das imagens e identificação do método a ser utilizado

As imagens foram analisadas através do *software* MatLab, um programa matemático que permite criar os algoritmos necessários para o processamento dessas imagens. Pretendia-se com esse trabalho quantificar as partículas

dispersas no ambiente através da mudança de padrão nas imagens coletadas realizando, para isso, uma comparação entre uma imagem do ambiente em condições normais e na presença das partículas de poeira. Para isso, poderia se utilizar métodos de reconhecimento de padrões, diferencial de imagens ou *speckle laser*.

Foram testados para a análise das imagens o método do momento de inércia (MI), o método das diferenças generalizadas (DG) e o coeficiente de correlação, comparando o desempenho entre os métodos identificando os melhores resultados. A opção de utilizar os métodos de *speckle laser* justifica-se por ser uma ferramenta bastante utilizada entre os pesquisadores do Centro de Desenvolvimento e Instrumentação Aplicada à Agropecuária (CEDIA), na UFLA. São algoritmos previamente desenvolvidos e testados, o que justifica a escolha em utilizá-los.

Após aplicação dos métodos para analisar as imagens, foi verificado que os métodos escolhidos apresentaram bons resultados sendo, portanto, esses métodos escolhidos para serem utilizados na execução do projeto.

4.4 Validação do método de análise das imagens

Para realizar a validação do método, utilizaram-se os valores medidos pela balança de precisão. A cada variação da quantidade de pó depositado no ambiente, foram capturadas as imagens correspondentes. Pela aplicação dos métodos MI, DG e correlação, foi obtida uma equivalência entre a imagem capturada e o valor medido pela balança possibilitando validar o método de análise de imagem utilizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares foram utilizados para ajuste de *setup* e para a verificação da metodologia utilizada na análise das imagens, sendo o experimento com poeira depositada e em suspensão nos fundos branco e azul.

Após ajuste de *setup* e definição da metodologia, realizaram-se os experimentos utilizando o *speckle laser* que permitiu uma análise mais precisa dos resultados.

5.1 Experimento com poeira depositada

Neste experimento com poeira depositada na superfície, as imagens foram capturadas, primeiro usando o fundo branco e em seguida o fundo azul.

A Tabela 5 mostra a variação do valor de MI em doze linhas dentro da área demarcada utilizando a amostra de 0,3 gramas para fundo azul. Optou-se por mostrar o resultado de apenas uma amostra do experimento, pois todas as amostras tiveram comportamento semelhante em relação à variação do valor de MI entre linhas diferentes na área demarcada para a análise.

Tabela 5 - Variação do valor de MI nas 12 linhas escolhidas dentro da área demarcada (fundo azul e amostra de 0,3 gramas).

Linha	20	40	60	80	100	110
Valor do MI	8425,2	8531,3	8830,6	8766,0	8669,0	8696,8
Linha	120	130	140	160	180	200
Valor do MI	8740,5	8651,2	8755,5	8427,3	9194,9	8481,0

Fonte: Do autor (2016).

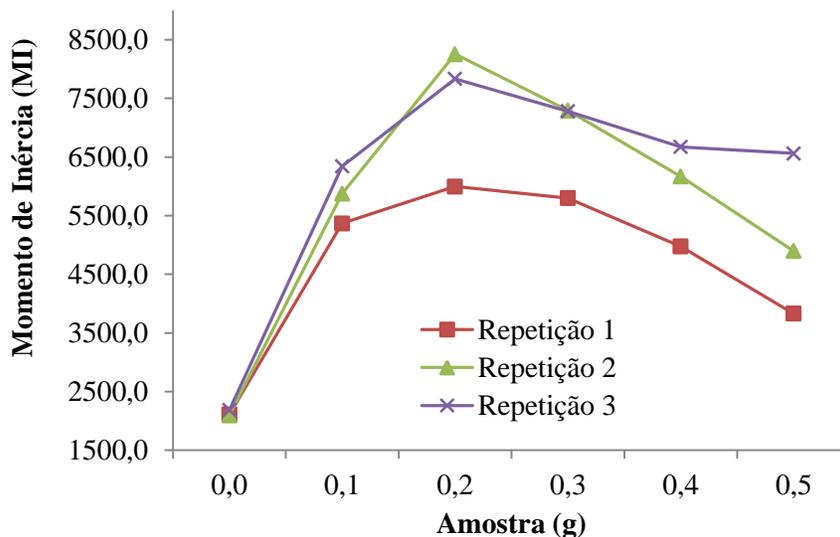
A área demarcada possui 208 linhas e 468 colunas. A variação do valor de MI entre linhas observada na Tabela 5 deve-se à maneira como as partículas estão dispersas na superfície analisada, portanto, pode ser que uma linha ou

coluna escolhida para aplicação do método MI represente melhor a variação de poeira entre amostras do que outra. Ao utilizar o algoritmo do método MI para verificar a variação da quantidade de poeira depositada ou em suspensão deve-se escolher uma única linha ou coluna dentro da área demarcada para análise. Há a possibilidade também de escolher pontos aleatórios dentro da região demarcada. Todos os resultados apresentados adiante serão apenas referentes à linha 100, pois esta encontra-se no centro da área demarcada para análise.

Os valores de MI foram calculados considerando três repetições do experimento, para todas as amostras, utilizando fundo branco e azul, como pode ser observado nas Figuras 19 e 20.

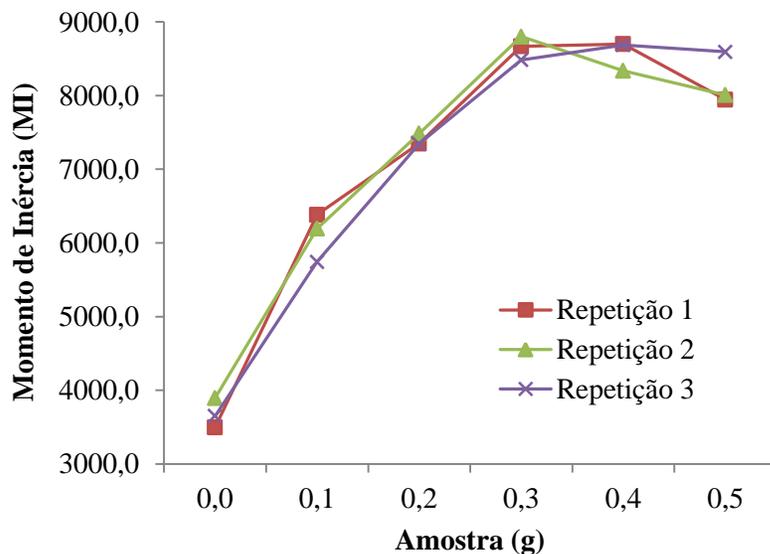
O resultado para os valores de MI (FIGURAS 19 e 20) são crescentes até a amostra de 0,2 gramas para o fundo branco e até 0,3 gramas para o fundo azul, acompanhando o aumento da quantidade de poeira sobre a superfície. Comparando a Figura 19 com a Figura 20 nota-se um melhor resultado utilizando o fundo azul, pois para os três experimentos realizados, as curvas se comportam de forma semelhante o que pode ser explicado pelo contraste entre a cor azul e a cor marrom da poeira, sendo essas cores complementares.

Figura 19 - Variação do valor do MI em relação à quantidade de poeira para o fundo branco.



Fonte: Do autor (2016).

Figura 20 - Variação do valor do MI em relação à quantidade de poeira para o fundo azul.



Fonte: Do autor (2016).

Com a realização desse experimento foi possível concluir que o método do momento de inércia (MI) representa muito bem a variação da quantidade de poeira depositada sobre a superfície.

5.2 Experimento 1: poeira em suspensão e fundo branco

Este foi o primeiro experimento realizado utilizando o protótipo desenvolvido com a finalidade de manter a poeira em suspensão. Utilizou-se apenas o fundo branco.

Os valores do MI foram calculados e conforme apresentado na Tabela 6, são crescentes em relação ao acúmulo de poeira em suspensão.

Tabela 6 - Variação do MI com o aumento da poeira em suspensão.

Valor do MI	Quantidade de poeira			
	0,00 gramas	0,20 gramas	0,35 gramas	0,50 gramas
Linha 1280	19967,00	20999,00	24041,00	24417,00
Coluna 760	14058,00	14716,00	16267,00	17008,00

Fonte: Do autor (2016).

A diferença nos valores de MI entre a linha e a coluna se deve ao fato da dispersão de poeira dentro do recipiente acontecer de forma aleatória, influenciando na intensidade do movimento das partículas em cada ponto diferente da imagem.

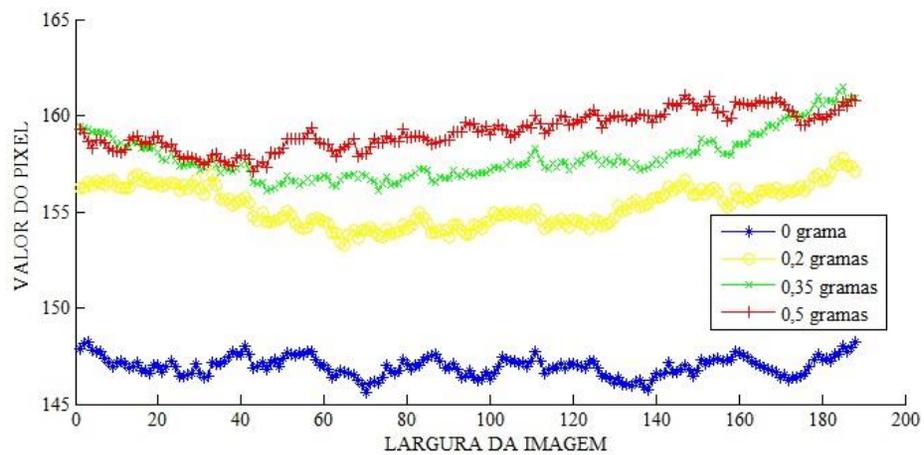
5.3 Experimento 2: poeira em suspensão com fundos branco e azul

Esse segundo experimento objetivou analisar o comportamento da poeira em suspensão utilizando os fundos de cor azul e branca.

Nas Figuras 21 e 22, estão representados os valores dos *pixels* ao longo da linha 70, escolhida para as quatro amostras de poeira que foram usadas no experimento. Para cada amostra (0, 0,2, 0,35 e 0,5 gramas), calculou-se a média aritmética do valor do *pixel* em cada ponto da linha de cada repetição do

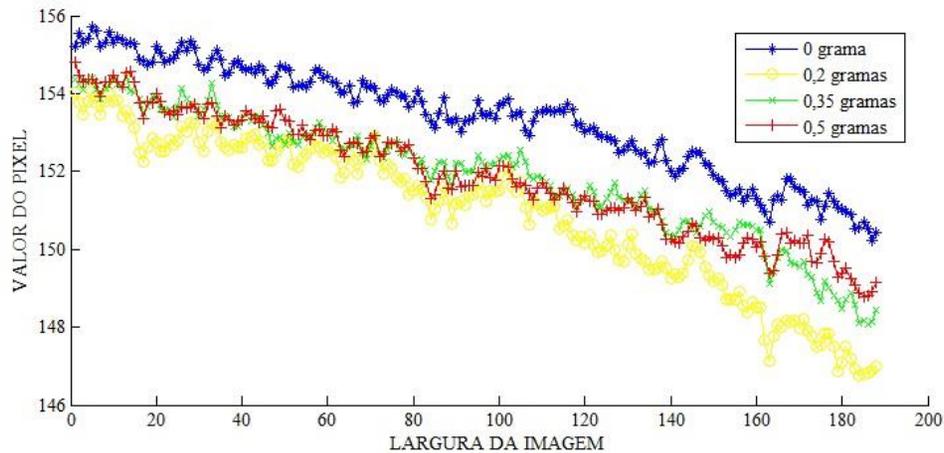
experimento, visto que o experimento foi realizado três vezes ((valor do *pixel* na primeira repetição + valor do *pixel* na segunda repetição + valor do *pixel* na terceira repetição) / 3). Realizou-se esse cálculo para os 188 pontos da linha. A Figura 21 representa o experimento utilizando fundo azul e a Figura 22 utilizando o fundo branco.

Figura 21 - Evolução da intensidade do pixel ponto a ponto ao longo da linha 70 para diferentes quantidades de poeira, através do cálculo da média aritmética ponto a ponto das 3 repetições do experimento (fundo azul).



Fonte: Do autor (2016).

Figura 22 - Evolução da intensidade do pixel ponto a ponto ao longo da linha 70 para diferentes quantidades de poeira, através do cálculo da média aritmética ponto a ponto das 3 repetições do experimento (fundo branco).



Fonte: Do autor (2016).

A análise das Figuras 21 e 22 permite afirmar que quando há uma variação na cor da imagem que está sendo observada, caracterizando a presença de poeira, há também uma variação no valor dos *pixels*. Porém esse resultado não pode ser utilizado para quantificar a poeira em suspensão, pois não há diferença significativa entre as curvas de 0,2, 0,35 e 0,5 gramas, elas estão sobrepostas. A diferença entre as curvas é visualmente significativa apenas nos casos de presença ou ausência de poeira, 0 grama e as demais amostras.

Na análise anterior, não foi possível caracterizar quantitativamente a poeira em suspensão, portanto, o método do momento de inércia foi novamente utilizado.

Tabela 7 - Valores do MI para o experimento 2 (fundo branco).

	0,00 gramas	0,20 gramas	0,35 gramas	0,50 gramas
Coluna 40	541,50	597,72	598,53	526,15
Coluna 120	545,05	599,98	553,23	542,76
Coluna 200	516,02	605,37	603,40	583,48
Linha 20	1520,00	1624,90	1665,60	1595,10
Linha 40	1437,90	1706,30	1611,40	1498,10
Linha 70	1481,80	1708,30	1599,30	1583,50
500 pontos	2901,10	3287,00	3239,90	3218,70

Fonte: Do autor (2016).

Tabela 8 - Valores do MI para o experimento 2 (fundo azul).

	0,00 gramas	0,20 gramas	0,35 gramas	0,50 gramas
Coluna 20	673,13	743,02	710,13	748,34
Coluna 50	542,11	762,84	754,52	787,64
Coluna 80	499,27	781,01	716,22	732,36
Linha 20	634,48	747,10	685,03	731,95
Linha 50	611,43	705,55	647,69	692,46
Linha 80	566,32	738,23	740,97	766,19
500 pontos	2883,30	3753,80	3542,20	3727,60

Fonte: Do autor (2016).

Foram escolhidas para o cálculo do MI três colunas, três linhas e 500 pontos aleatórios dentro da área demarcada nas imagens. As linhas e colunas nas Tabelas 7 e 8 são diferentes, pois a área demarcada para o fundo branco foi diferente da área demarcada para o fundo azul (as linhas e colunas para o cálculo do MI são escolhidas de maneira aleatória). De acordo com os dados apresentado nas Tabelas 7 e 8, os valores de MI são quase sempre crescentes em relação à amostra de 0 grama (ambiente livre de poeira). Esse resultado indica que o método do momento de inércia (MI) consegue identificar quando há um aumento na quantidade de poeira em suspensão.

A cor vermelha nas Tabelas 7 e 8 são para destacar a situação onde não houve o aumento no valor de MI conforme era esperado. Esse fato pode ser explicado pela aleatoriedade na dispersão das partículas (determinada linha ou coluna pode ser melhor para o cálculo do MI do que outras) e principalmente pelo fato da quantidade de poeira da amostra ser maior do que a capacidade do ventilador em mantê-las em suspensão, podendo concluir que o protótipo utilizado na realização do experimento foi adequado para manter em suspensão amostras de até 0,2 gramas.

Na Tabela 7 ao comparar o valor de MI da amostra de 0,5 gramas em relação à amostra de 0 grama, verifica-se que houve decréscimo do valor de MI nas colunas 40 e 120. A saturação em determinadas regiões da imagem pode mascarar o resultado e explicar essa ocorrência, pois, a análise em relação à amostra de 0 grama sempre deveria fornecer um maior valor de MI.

5.4 Experimento 3: poeira em suspensão com iluminação *laser*

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes ao experimento realizado para analisar a poeira em suspensão utilizando a metodologia de iluminação *laser*.

A Tabela 9 apresenta os valores de MI calculados para três linhas, três colunas e 500 pontos aleatórios na área demarcada.

Tabela 9 - Valores de MI para o experimento 3.

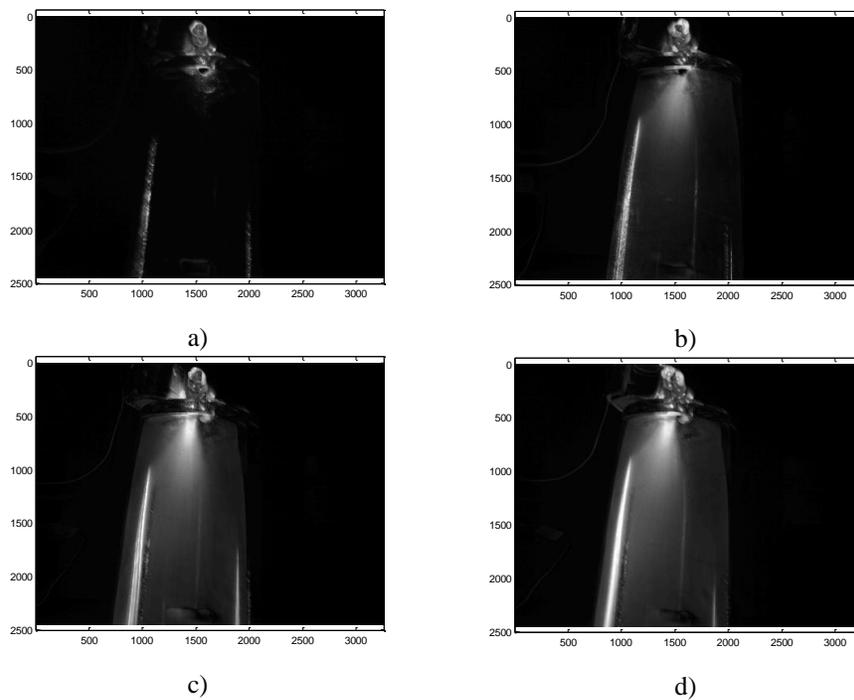
	0,00 gramas	0,10 gramas	0,20 gramas	0,30 gramas
Linha 20	351,43	550,43	592,85	574,22
Linha 40	366,74	552,29	580,17	504,95
Linha 60	346,50	547,31	620,42	535,66
Coluna 30	263,83	464,17	475,53	456,55
Coluna 60	255,82	322,89	478,53	351,46
Coluna 90	252,42	366,04	436,81	335,91
500 pontos	1485,90	2319,60	2669,50	2324,70

Fonte: Do autor (2016).

Como consta na Tabela 9 os valores de MI são crescentes em relação ao aumento da poeira em suspensão no recipiente. Os valores destacados em vermelho na Tabela 9 mostram o decréscimo dos valores de MI que pode ser explicado pela limitação da potência do ventilador em manter essa quantidade de partículas (0,3 gramas) em suspensão.

As imagens processadas pelo método DG, tendo sempre como referência a amostra de 0 grama, podem ser observadas na Figura 23.

Figura 23 - Mapa de atividades DG de amostras de poeira em suspensão com iluminação *laser*, sendo: (a) 0 grama, (b) 0,1 gramas em relação a 0 grama, (c) 0,2 gramas em relação a 0 grama e (d) 0,3 gramas em relação a 0 grama.



Fonte: Do autor (2016).

É possível observar claramente o aumento da quantidade de poeira em suspensão através da metodologia de diferenças generalizadas, porém trata-se de uma análise qualitativa. Para quantificar essa percepção, foi calculado o coeficiente de correlação das imagens fornecidas pelo DG, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores do coeficiente de correlação para as imagens processadas pelo método DG.

Valor em gramas	Coeficiente de correlação
0,0	0,7499
0,1	0,6826
0,2	0,6379
0,3	0,6242

Fonte: Do autor (2016).

Como se pode notar pela Tabela 10, o coeficiente de correlação diminui à medida que aumenta a poeira em suspensão, assim como era esperado, pois quanto mais próximo de 0 for o coeficiente de correlação menos relação existe entre as imagens.

Com base nos resultados obtidos pelo método MI, DG e coeficiente de correlação para o experimento da poeira em suspensão com iluminação *laser*, pode-se afirmar que os três métodos aplicados no processamento das imagens são viáveis para detecção e análise de poeira em suspensão.

5.5 Experimento 4: poeira em suspensão com iluminação *laser* e maior número de amostras

Nesse experimento o objetivo foi diminuir o intervalo entre as amostras para verificar como seria a eficácia dos métodos MI, DG e coeficiente de correlação na identificação de quantidades menores de poeira em suspensão.

Tabela 11 - Valores de MI para o experimento 4.

Gramas	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3
Coluna 200	207,96	312,12	322,15	329,71	361,31	356,46	409,84	416,78	467,26	455,82	451,63	446,52	443,18	447,58	455,5	432,46
Coluna 300	226,49	350,1	372,37	441,2	454,52	414,33	417,28	416,92	396,89	400,6	469,44	377,41	314,93	301,01	333,57	380,31
Coluna 500	212,11	307,48	407,86	412,41	455,69	350,09	359,27	378,04	313,79	314,89	416,47	387,53	320,84	295,56	311,65	319,02
Linha 50	789,19	1230,9	1439,8	1516,8	1508,2	1521,2	1555	1574,1	1656	1610,6	1772,8	1672	1418,2	1570,2	1557,4	1583,7
Linha 80	718,71	1238,8	1415,3	1445,9	1479,6	1482,2	1549,6	1573,9	1593,4	1566,3	1662,8	1624,5	1487,7	1401,2	1553,6	1555,4
Linha 120	757,63	1176,2	1397,8	1503,3	1494,2	1486,9	1481,9	1524,1	1558,3	1488	1647,4	1540,6	1445,5	1383,2	1464,1	1469,9
500 pontos	662,83	1022,4	1163,7	1264,5	1286	1273	1323,3	1285,2	1380,2	1300,3	1432,4	1369	1162	1222,8	1259,7	1251,8

Fonte: Do autor (2016).

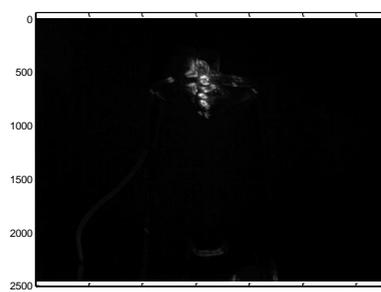
Analisando a Tabela 11, nota-se que o valor de MI quantificou a variação da quantidade de poeira suspensa até a amostra de 0,2 gramas, assim como havia acontecido no experimento apresentado na seção anterior.

Os resultados apresentados na Tabela 11 até a amostra de 0,2 gramas permitem novamente verificar o comportamento crescente para os valores de MI à medida que há uma maior quantidade de poeira em suspensão, mesmo se essa quantidade for bem pequena como o acréscimo de 0,02 gramas entre as amostras.

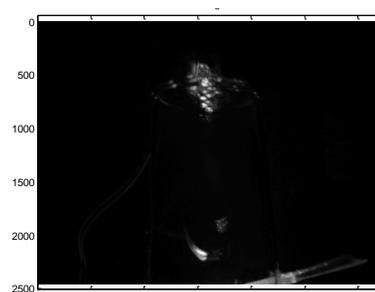
Após a aplicação do método MI para analisar as imagens, o processamento também foi realizado pelo método DG juntamente com o cálculo do coeficiente de correlação.

Figura 24 - Mapa de atividades DG de amostras de poeira em suspensão de 0 grama (a) até 0,3 gramas (p), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.

(Continua)



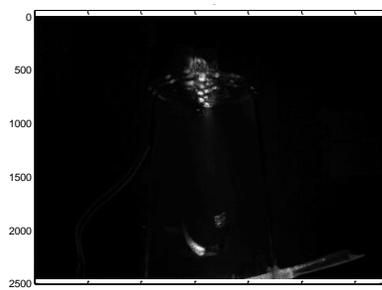
a)



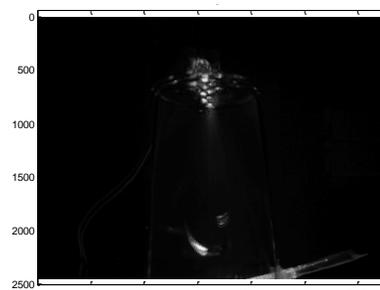
b)

Figura 24 - Mapa de atividades DG de amostras de poeira em suspensão de 0 grama (a) até 0,3 gramas (p), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.

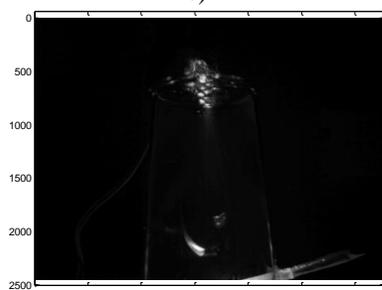
(Continuação)



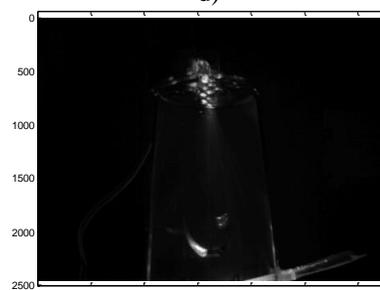
c)



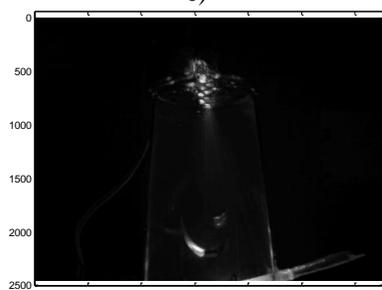
d)



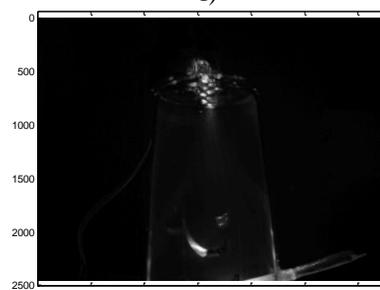
e)



f)



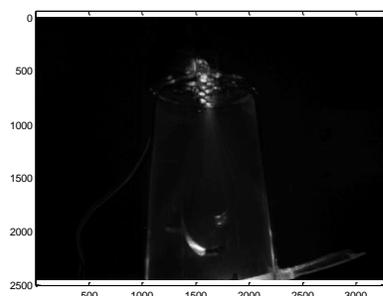
g)



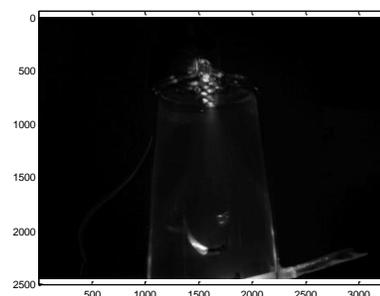
h)

Figura 24 - Mapa de atividades DG de amostras de poeira em suspensão de 0 grama (a) até 0,3 gramas (p), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.

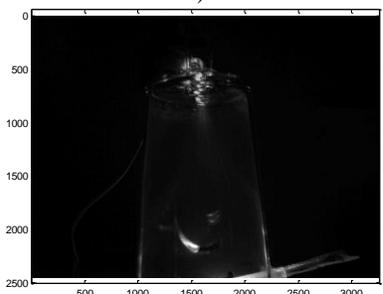
(Continuação)



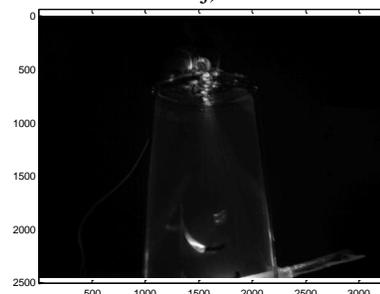
i)



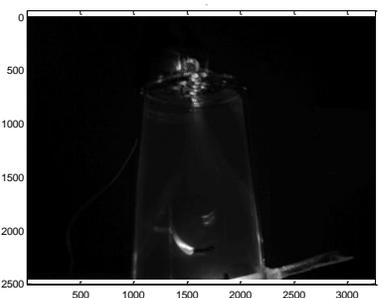
j)



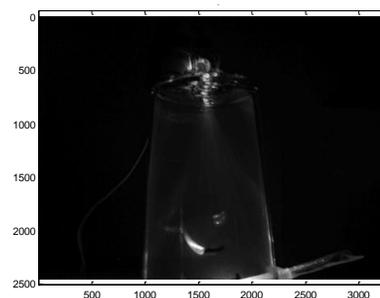
k)



l)



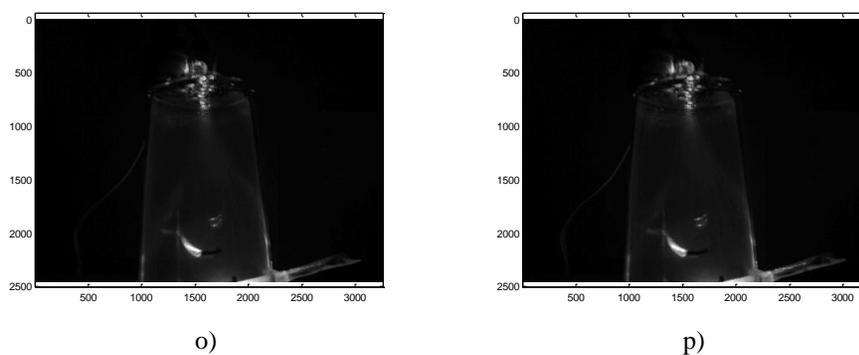
m)



n)

Figura 24 - Mapa de atividades DG de amostras de poeira em suspensão de 0 grama (a) até 0,3 gramas (p), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.

(Conclusão)



Fonte: Do autor (2016).

Na Figura 24, foram apresentadas as imagens do mapa de atividades DG de todas as amostras analisadas nesse experimento 0; 0,02; 0,04; 0,06, ... , 0,3 gramas. Para quantificar essa análise, calculou-se o coeficiente de correlação das imagens obtidas pelo processamento DG.

Tabela 12 - Valores do coeficiente de correlação referentes ao experimento 4.

(Continua)

Valor em gramas	Coefficiente de correlação
0,00	0,8461
0,02	0,7169
0,04	0,7123
0,06	0,7055
0,08	0,7018
0,10	0,6971
0,12	0,6914
0,14	0,6941
0,16	0,6866
0,18	0,6887
0,20	0,6844
0,22	0,6825
0,24	0,6878
0,26	0,6711

Tabela 12 - Valores do coeficiente de correlação referentes ao experimento 4.
(Conclusão)

Valor em gramas	Coeficiente de correlação
0,28	0,6818
0,30	0,6741

Fonte: Do autor (2016).

Os resultados do coeficiente de correlação apresentados na Tabela 12 mostram o decaimento da correlação à medida que aumenta a quantidade de poeira suspensa, indicando que à medida que aumenta o material em suspensão as imagens tornam-se menos correlacionadas comprovando numericamente o que foi notado analiticamente pelo método DG.

5.6 Experimento com talco em suspensão

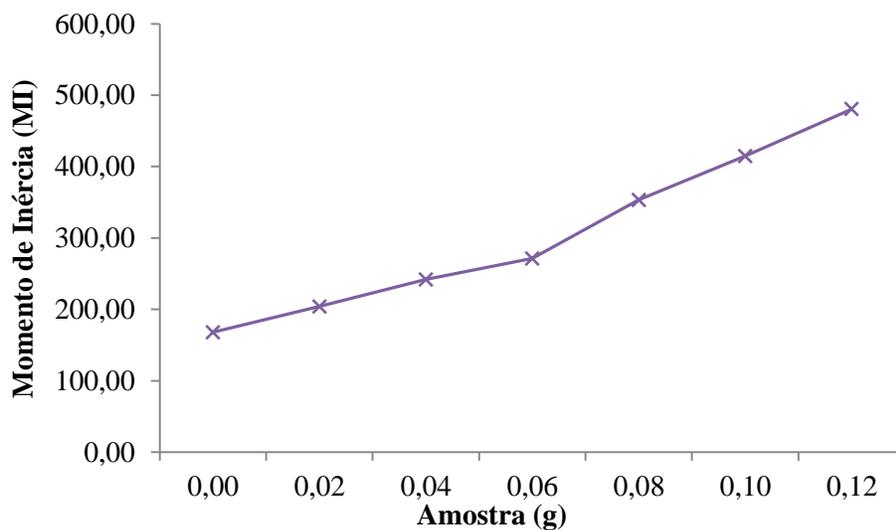
Visando analisar a eficácia dos métodos de processamento de imagens para quantificar outro tipo de material em suspensão, realizou-se esse experimento utilizando talco.

A Figura 24 ilustra o comportamento do valor de MI à medida que aumenta a quantidade de talco em suspensão.

Analisando a Figura 25, nota-se que o valor de MI apresenta comportamento crescente quantificando-se a variação da quantidade de talco suspensa.

Esse resultado era esperado e comprova que, mesmo utilizando um material diferente da poeira, o método MI conseguiu quantificar o aumento do material em suspensão.

Figura 25 - Valores de MI para o experimento com talco.

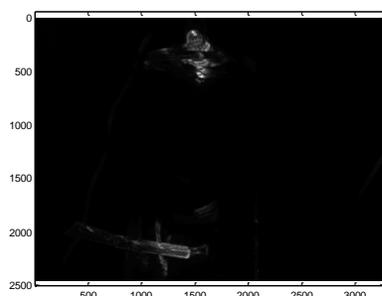


Fonte: Do autor (2016).

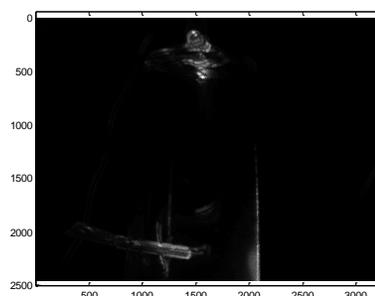
Na Figura 26, podem ser visualizadas as imagens fornecidas pelo método DG, tendo sempre como referência a amostra de 0g.

Figura 26 - Mapa de atividades DG de amostras de talco em suspensão de 0 grama (a) até 0,12 gramas (g), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.

(Continua)



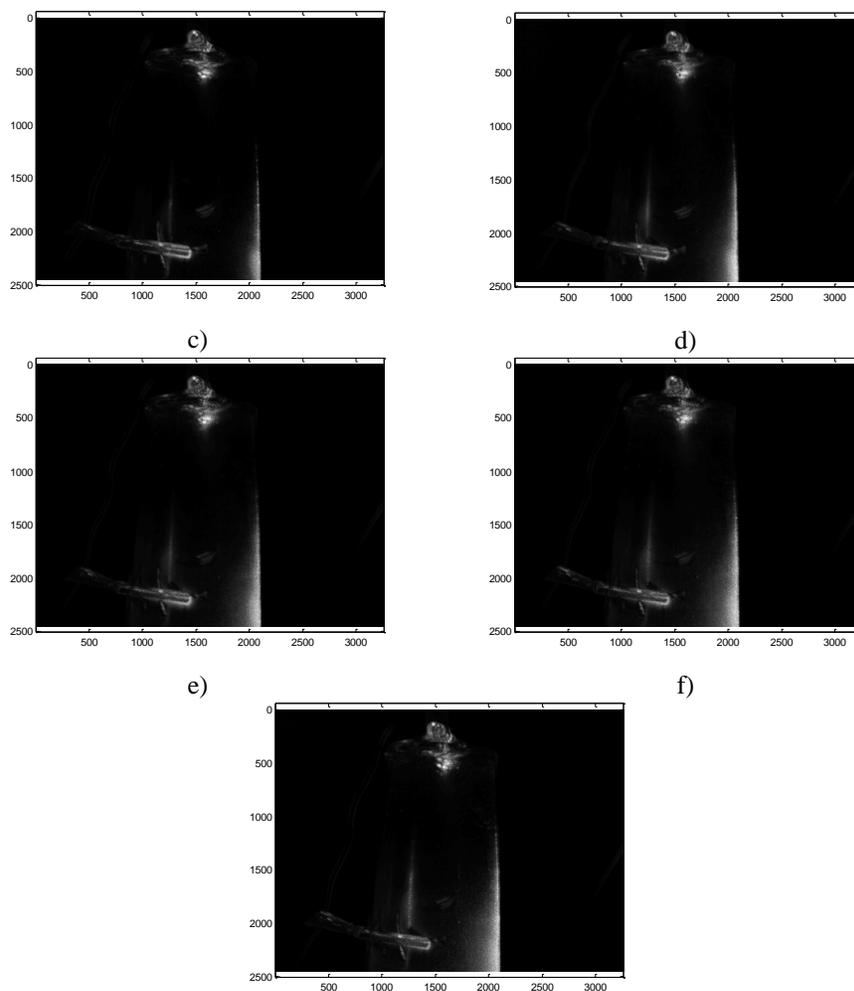
a)



b)

Figura 26 - Mapa de atividades DG de amostras de talco em suspensão de 0 grama (a) até 0,12 gramas (g), com incremento de 0,02 gramas entre duas imagens consecutivas.

(Conclusão)

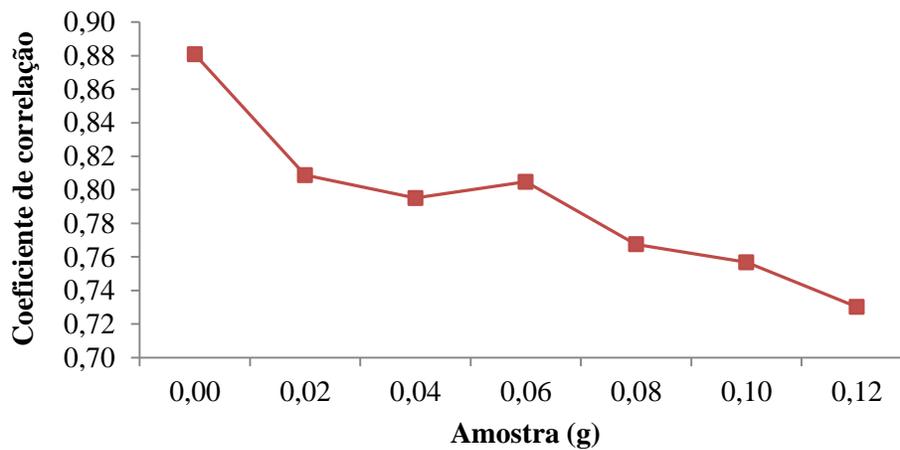


g)
Fonte: Do autor (2016).

É possível observar claramente o aumento da quantidade de talco em suspensão através da metodologia de diferenças generalizadas, assim como aconteceu com o experimento utilizando poeira.

O coeficiente de correlação também foi calculado para quantificar essa percepção visual conforme apresentado na Figura 27. O resultado apresentado mostra o decaimento da correlação à medida que se aumenta a quantidade de talco suspenso, assim como era esperado, pois quanto mais próximo de 0 for o coeficiente de correlação menos relação existe entre as imagens.

Figura 27 - Valores do coeficiente de correlação para o experimento com talco.



Fonte: Do autor (2016).

O uso do talco nesse experimento demonstra que os métodos de processamento de imagens MI, DG e correlação são adequados para analisar dispersóides de qualquer natureza: orgânica ou mineral.

6 CONCLUSÕES

Os três métodos para análise de imagens utilizados neste trabalho (momento de inércia, diferenças generalizadas e coeficiente de correlação) foram capazes de determinar a variação da quantidade de partículas em suspensão e depositadas em uma superfície (com precisão até uma amostra de 0,2 gramas).

Os valores obtidos pela aplicação do momento de inércia são crescentes em relação à quantidade de material depositado na superfície e suspenso no ar.

O método de diferenças generalizadas consegue representar qualitativamente o material em suspensão, comprovando-se através do decréscimo do valor do coeficiente de correlação.

Todos os métodos de análise de imagens utilizados na realização deste trabalho se mostraram eficazes para monitorar os níveis de poeira em um ambiente, seja para partículas em suspensão ou depositadas na superfície e também para as partículas de talco em suspensão.

Portanto, o processamento de imagens é uma ferramenta promissora para a análise de material particulado em suspensão no ar ou depositado sobre uma superfície. Utilizando as metodologias de análise adotadas neste trabalho, torna-se possível monitorar o aumento de material particulado em diversos ambientes por se tratar de um método de baixo custo e de fácil implementação.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

No campo das perspectivas e trabalhos futuros, pretende-se criar um instrumento que utilize a metodologia de processamento de imagens aplicadas neste trabalho para detectar e analisar quantitativamente diversos tipos de materiais particulados suspensos no ar, como a poeira, fuligem, fumaça ou pós-oriundos da técnica de polvilhamento de inseticidas.

Outra linha de pesquisa seria verificar a possibilidade de modelagem matemática das partículas em suspensão pelo uso de equações diferenciais.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M. C. B.; NAAS, I. A.; GONTIJO, L. A. Respiratory risks in broiler production workers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 23–29, jan./mar. 2004.
- AMARAL, I. C. et al. Application of biospeckle laser technique for determining biological phenomena related to beef aging. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 119, n. 1, p. 135-139, Nov. 2013.
- AMORIM, W. P.; PISTORI, H. Análise discriminante de fisher aplicadas a detecção de defeitos em couro bovino. In: WORKSHOP DE VISÃO COMPUTACIONAL, 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: [s.n.], 2007. p. 1-6.
- ANDRADE, P. C. C. et al. Cumulative impact assessment on air quality from multiple open pit mines. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Oxford, v. 18, n. 2, p. 483-492, Feb. 2016.
- ANSARI, M. Z.; NIRALA, A. K. Assessment of bio-activity using the methods of inertia moment and absolute value of the differences. **International Journal of Light and Electron Optics**, Amsterdam, v. 124, n. 6, p. 512-516, Mar. 2013a.
- ANSARI, M. Z.; NIRALA, A. K. Assessment of fruits during shelf-life storage using biospeckle laser. **Agricultural Engineering International: CIGR journal**, Japan, v. 16, n. 3, p. 223-229, Sept. 2014.
- ANSARI, M. Z.; NIRALA, A. K. Biospeckle activity measurement of Indian fruits using the methods of cross-correlation and inertia moments. **International Journal for Light and Electron Optics**, Amsterdam, v. 124, n. 15, p. 2180-2186, Aug. 2013b.
- AREFI, A. et al. Non-destructive identification of mealy apples using biospeckle imaging. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 112, p. 266-276, Feb. 2016.
- ARIZAGA, R. et al. Display of local activity using dynamical speckle patterns. **Optical Engineering**, Redondo Beach, v. 41, n. 2, p. 287–294, Feb. 2002.
- ARIZAGA, R.; TRIVI, M. R.; RABAL, H. J. Speckle time evolution characterization by co-ocurrence matrix analysis. **Optics & Laser Technology**, Surrey, v. 4, n. 3, p. 1-7, Mar. 1999.

BOTEGA, J. V. L. **Viabilidade de métodos óticos para identificação de conteúdo de água de folha de cafeeiros**. 2009. 115 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BRAGA, R. A. et al. Live biospeckle laser imaging of root tissues. **European Biophysics Journal**, New York, v. 38, n. 5, p. 679–686, June 2009.

CAMBRA-LÓPEZ, M. et al. Comparison between light scattering and gravimetric samplers for PM 10 mass concentration in poultry and pig houses. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 111, p. 20-27, June 2015.

CAMPOS, A. F. M. C. **Estudo de poeiras respiráveis e análise da pluma de poeiras numa pedreira a céu aberto**. 2013. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) - Universidade do Porto, Portugal, 2013.

CARDOSO, R. R. **Análise do speckle laser dinâmico: uma releitura**. 2011. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CARVALHO, F. J. S.; TAVARES, J. M. R. da S. Metodologias para identificação de faces em imagens: introdução e exemplos de resultados. In: CONGRESO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA, 2005, Granada. **Anais...** Granada: [s.n.], 2005.

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.

CASTRO, A. A. M. de; PRADO, P. P. L. do. Algoritmos para reconhecimento de padrões. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 5/8, p. 129-145, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº3, de 28/09/1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**, Brasileira, DF, n. 158, p. 15518-15519, ago. 1990.

D'ALENCAR, A. S. et al. Manejo higiênico-sanitário e lesões pulmonares em suínos na Região Metropolitana de Recife e Zona da Mata de Pernambuco. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 1111-1122, jul./set. 2011.

ECKHOFF, R. K. **Dust explosions in the process industries**. 3. ed. New York: Elsevier Science, 2003. 754 p.

ECKHOFF, R. K. Scaling of dust explosion violence from laboratory scale to full industrial scale – a challenging case history from the past. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, London, v. 36, p. 271-280, July 2015.

ESTELLITA, L. et al. Analysis and risk estimates to workers of Brazilian granitic industries and sandblasters exposed to respirable crystalline silica and natural radionuclides. **Radiation Measurements**, Oxford, v. 45, n. 2, p. 196-203, 2010.

FEDERICI, J. F. **Bem-estar de frangos de corte no Brasil e na Bélgica: avaliação e impacto nas relações de comércio internacional**. 2012. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FREITAS, P. L. dos S. **Análise do comportamento de métodos de classificação de padrão de speckle dinâmico**. 2010. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FRICKE-BEGEMANN, T. et al. Corrosion monitoring with speckle correlation. **Applied Optics**, Easton, v. 38, n. 28, p. 5948-5955, Oct. 1999.

FUJII, H. et al. Blood flow observed by time-varying laser speckle. **Optics Letters**, New York, v. 10, n. 3, p. 104-106, Mar. 1985.

FUJII, H. et al. Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing. Part. I. **Applied Optics**, Easton, v. 26, n. 24, p. 5321-5325, Dec. 1987.

FUKUSHIMA, S.; ZHANG, D. Comparison in size and elemental composition of dust particles deposited to the surface and suspended in the air on the south west Japan coast. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 118, p. 157-163, Oct. 2015.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO - FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional: procedimento técnico: coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho (NHO 08)**. São Paulo: Fundacentro, 2009. 24 p.

GODINHO, M. da S. et al. Classificação de refrigerantes através de análise de imagens e análise de componentes principais (PCA). **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1485-1489, ago. 2008.

GONÇALVES, M. L. et al. Classificação não-supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais auto-organizáveis e métodos de agrupamentos hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 60, p. 17-29, abr. 2011.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. Nova Jersey: Prentice Hall, 2002. 793 p.

HOCHSTEIN, P. A. **Differential imaging rain sensor**. U.S. Patent n. 6,603,137, 5 ago. 2003a.

HOCHSTEIN, P. A. **Interleaved mosaic imaging rain sensor**. U.S. Patent n. 6,573,490, 3 jun. 2003b.

HUMEAU-HEURTIER, A.; MAHÉ, G.; ABRAHAM, P. Microvascular blood flow monitoring with laser speckle contrast imaging using the generalized differences algorithm. **Microvascular Research**, New York, v. 98, p. 54-61, Mar. 2015.

KOUKIOU, G.; ANASTASSOPOULOS, V. Neural networks for identifying drunk persons using thermal infrared imagery. **Forensic Science International**, Lausanne, v. 252, p. 69-76, July 2015.

LIMA, M. M. T. M. **Características da poeira do processo de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento**: estudo no pólo de Santa Gertrudes. 2007. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MINZ, P. D.; NIRALA, A. K. Bio-activity assessment of fruits using generalized difference and parameterized fujii method. **International Journal for Light and Electron Optics**, Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 314-317, Jan. 2014.

MIRAGLIOTTA, M. Y. **Avaliação das condições do ambiente interno em dois galpões de produção comercial de frangos de corte, com ventilação e densidade populacional diferenciados**. 2005. 258 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MOREIRA, J. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional de livre acesso para o processamento de imagens do speckle laser dinâmico**. 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

NÄÄS, I. D. A. et al. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 326-335, maio/ago. 2007.

NOBRE, C. M. B. **Análise espectral do biospeckle laser através do momento de inércia, entropia e cross-spectrum**. 2008. 209 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

OGLE, R. A.; DILLON, S. E.; FECKE, M. Explosion from a smoldering silo fire. **Process Safety Progress**, New York, v. 33, n. 1, p. 94-103, Mar. 2014.

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

PONCIANO, P. F. et al. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 60, n. 1, p. 1-13, 2011.

RABELO, G. F. **Avaliação da aplicação do “speckle” dinâmico no monitoramento da qualidade da laranja**. 2000. 177 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

RABELO, G. F. et al. Frequency response of biospeckle laser images of bean seeds contaminated by fungi. **Biosystems Engineering**, London, v. 110, n. 3, p. 297-301, Nov. 2011.

RABELO, G. F.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; FABBRO, I. 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./dez. 2005.

RANGEL JÚNIOR, E. Os pós: lobo em pele de cordeiro. **O Setor Elétrico**, São Paulo, p. 63-132, jun. 2008.

RESENDE, F. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios.** 2007. 232 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RITZ, C. W.; FAIRCHILD, B. D.; LACY, M. P. **Litter quality and broiler performance.** Athens: The University of Georgia College of Agricultural & Environmental Sciences, 2009.

ROHR, P. et al. Evaluation of genetic damage in open-castcoal mine workers using the buccal micronucleus cytome assay. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, New York, v. 54, n. 1, p. 65-71, Jan. 2013.

RONDON, E. N.; SILVA, R. M. V. G. da; BOTELHO, C. Respiratory symptoms as health status indicators in workers at ceramics manufacturing facilities. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 36-45, fev. 2011.

RUEDA, T. C.; SANTOS, L. M. dos; RABELO, G. F. Controle automático do nível de poeira baseado em microcontrolador. **INFOCOMP Journal of Computer Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 61-65, mar. 2006.

RUFINO, C. A. **Desenvolvimento de um sistema para a detecção de dispersóides no ar.** 2011. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SANTIAGO, A. et al. Caracterização do material particulado suspenso no ar de Cuiabá-MT no período de queimadas. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 273-283, jan./mar. 2015.

SANTOS, A. M. dos A. et al. Características das exposições a poeiras em marmorarias da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 32, n. 116, p. 11-23, abr. 2007.

SANTOS, A. M. dos A. **Exposição ocupacional a poeiras em marmorarias: tamanhos de partículas característicos.** 2005. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SANTOS, A. M. dos A. **O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho.** São Paulo: Fundacentro, 2001. 96 p.

SILVA, J. de A. **Modelagem CFD de explosões de pós em silos**. 2012. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 1-13, nov. 2007.

SOUZA, V. F. de; QUELHAS, O. L. G. Avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira na indústria da construção. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 801-807, ago. 2003.

TUYTTENS, F. A. M. et al. Assessment of welfare of Brazilian and Belgian broiler flocks using the welfare quality protocol. **Poultry Science**, Champaign, v. 94, n. 8, p. 1758-1766, Aug. 2015.

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

ZANETTA, P.; FACCHINI, M. Local correlation of laser speckle applied to the study of salt efflorescence stone surfaces. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 104, n. 1/3, p. 35-38, Dec. 1993.

ZDUNEK, A. et al. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: a review. **Optics & Lasers in Engineering**, London, v. 52, n. 1, p. 276-285, Jan. 2014.