



RAFAEL DE OLIVEIRA FARIA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
MONITORAMENTO DE DISPERSOIDES
BASEADO EM ANÁLISE DE IMAGENS**

**LAVRAS-MG
2013**

RAFAEL DE OLIVEIRA FARIA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE
DISPERSOIDES BASEADO EM ANÁLISE DE IMAGENS**

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

Orientador

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

**LAVRAS – MG
2013**

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

Faria, Rafael de Oliveira.

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de dispersões baseado em análise de imagens / Rafael de Oliveira Faria. – Lavras : UFLA, 2013.

73 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.

Bibliografia.

1. Concentração de poeira. 2. Silicose. 3. Doenças respiratórias.
4. Explosões de áreas classificadas. 5. Processamento de imagens. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 621.367

RAFAEL DE OLIVEIRA FARIA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE
DISPERSOIDES BASEADO EM ANÁLISE DE IMAGENS**

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

APROVADA em 25 de abril de 2013.

Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato	UFLA
Dr. Wilian Soares Lacerda	UFLA
Dr. Antônio Carlos Neri	UFLA

Dr. Giovanni Francisco Rabelo
UFLA
Orientador

**LAVRAS - MG
2013
AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado força, coragem e, sobretudo, a alegria para realizar este trabalho.

Aos meus pais, Antônio e Celina, pelo apoio e incentivo incondicional.

Ao Luisa, pelo amor, compreensão, incentivo e paciência.

Ao professor Giovanni Rabelo, pelos constantes e valiosos ensinamentos, pela dedicação, valorização pessoal, amizade, confiança e, em especial, pelo incentivo nos momentos mais difíceis.

Aos membros da banca, professores Volpato, Wilian, Jackson e Antônio Néri, pela disponibilidade em contribuir e pelos ensinamentos.

Aos amigos dos laboratórios do CEDIA, em especial professor Roberto e sr. Toninho, pelos momentos de descontração, experiências compartilhadas e auxílio fundamental para o desenvolvimento dos trabalhos.

Aos amigos da República Cabaré, pelos sete anos de convivência, entre idas e vindas de diferentes integrantes e a tequila sempre presente.

Aos amigos e funcionários e professores do Departamento de Engenharia Agrícola e do Departamento de Ciências da Computação, pela convivência diária, motivação e auxílio.

A todos os amigos e familiares que torceram por mim e me apoiaram.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade e ao CNPq, pela disponibilização da bolsa de estudos.

Aos colegas de trabalho da Case New Holland – FIAT Industrial - Planta de Piracicaba, pela amizade e o apoio para a conclusão deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original"

Albert Einstein

RESUMO

O uso de tecnologias no cotidiano das pessoas e empresas vem crescendo surpreendente, nos últimos anos. Computadores, notebooks e smartphones estão se tornando, a cada dia, mais corriqueiros, visto que os preços e as facilidades de compra ajudam o consumidor a adquirir estes equipamentos. No campo das pesquisas científicas e industriais, o emprego dessas tecnologias sempre está um passo à frente dos consumidores, visto que a quantidade de dados que se processa é muito maior e podem ser aplicadas para várias áreas do conhecimento, como engenharia, medicina, física e biologia, entre outras. Estas áreas utilizam várias técnicas e métodos para extrair resultados e uma delas é o processamento de imagem. No âmbito de pesquisas relacionadas à busca e à identificação de características físicas ligadas à agricultura, utilizando o processamento de imagem, existem vários autores que empregaram essas técnicas como alicerce. Contudo, para a concentração de dispersóides no ambiente ainda não existe nenhuma pesquisa científica. É sabido que, hoje, a poluição é um tema bastante abordado nos meios de comunicação, principalmente quando envolve os seres humanos. Dentro dessa grande discussão, existem os materiais particulados, que são pequenas partículas chamadas de poeira ou dispersóides. No meio agrícola existem várias atividades que geram estes tipos de materiais suspensos e que podem prejudicar a saúde dos trabalhadores e até colocar em risco de explosões áreas classificadas. No presente trabalho propõe-se um equipamento que, aliado ao processamento de imagem, é capaz de monitorar a concentração de poeira em um ambiente. Foram investigadas três configurações experimentais, a fim de verificar quais delas irão apresentar maior resposta aos níveis de dispersóides. A terceira configuração, que utiliza um minimicroscópio eletrônico e a água como fluido do ambiente que, por sua vez, é empregada para diminuir a velocidade das partículas, foi a escolhida. Além de gerar uma curva de regressão linear, seu coeficiente de determinação atingiu 96,28%, sendo, assim, possível criar um equipamento baseado em análise de imagem capaz de medir a concentração de poeira no ambiente com rapidez, robustez e precisão.

Palavras chave: Dispersóides. Processamento de Imagens. Concentração de Poeira. Silicose.

ABSTRACT

The use of technology in daily life and business has grown amazingly in recent years, computers, laptops and smartphones is increasingly commonplace, since prices and shopping facilities help consumers owning these devices. In the field of scientific research and industrial employment of this technology is always one step ahead of the consumer, since the amount of data that is processed is much larger and can be applied to various fields of knowledge, such as engineering, medicine, physics, biology among others, these areas using various techniques and methods to extract results, one of which is the image processing. In the context of research related to search and identify physical characteristics linked to agriculture using image processing, there are several authors who used these techniques as a foundation. However, for the concentration of dispersoids in the environment there is still no scientific research on the subject. It is now known that pollution is one of the most talked about topics in the media, especially when they involve human beings within this great discussion, there are particulate matter, which are small particles of dust or entitled dispersoids. In the middle there are several agricultural activities that generate these types of suspended materials that may harm from health workers, even at the risk of explosions in hazardous areas. This paper proposes a device that combined the image processing is capable of monitoring the concentration of dust in an environment. Three experimental configurations were investigated in order to determine which of them will have higher response levels dispersoids. A third embodiment that uses a mini electron microscope and water as the fluid of the environment which in turn is used to slow the particles was elected because, in addition to generate a curve using linear regression coefficient of determination amounted to 96.28%, so it is possible to create a device based on image analysis capable of measuring the concentration of dust in the environment with speed, accuracy and robustness.

Key Words: Dispersoids. Image Processing. Concentration of Dust. Silicosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação numérica da matriz de uma imagem (Banon, 2000)	19
Figura 2 – Funcionamento de um sensor CCD (Rongtai et al., 2011)	20
Figura 3 – Imagem de gotas de um aspersor utilizado na irrigação de culturas agrícolas, coletadas por meio de papel sensível à água e tratada com processamento de imagem com a ferramenta segmentação	24
Figura 4 - Faixa de concentração de poeira explosiva no ar, em temperatura e pressão normal para uma partícula orgânica. E.g. amido de milho. (Eckhoff, 2009).	29
Figura 5 . Poeiras envolvidas em explosões no mundo (SÁ, 1998)	30
Figura 6 - Explosões por excesso de poeira de cereais em suspensão e uma pequena centelha elétrica (Bet, 2010).	31
Figura 7 - Técnicas de análise de tamanho de partícula com faixas limites de medidas. BI: disco centrífugo; DCP - detecção óptica; XDC - detecção por raios X. CHDF - distribuição de partícula em alta resolução (Parini, 2003).	32
Figura 8 – Diagrama mostra o princípio de dispersão da luz infravermelha utilizado na amostra de poeira (Costa, Borgonovo, Leroy, Berckmans, & Guarino, 2009).	33
Figura 9 - Placa controladora principal (Rufino, 2011)	34
Figura 10 Configuração Experimental do Sensor	35
Figura 11 - Equipamento de amostragem de poeira montado, formado pela bomba, ciclone Dorr-Oliver e porta-filtro com o filtro de membrana (Margarida et al., 2006).	36
Figura 12 – Primeira configuração experimental	38
Figura 13 – Fluxograma do processamento de imagens da primeira configuração experimental.	40

Figura 14 – Tela: diferença entre imagem padrão da imagem do instante 5 minutos - ImageJ.....	41
Figura 15 – <i>Set Measurements</i> IMAGEJ.....	42
Figura-16 – <i>Analyse Particles</i> : ImageJ	43
Figura 17 – Demonstração das partículas analisadas e sumarizadas.....	44
Figura 18 – Pré-resultados obtidos em cada partícula analisada.....	44
Figura 19 – Sumário dos resultados obtidos com a análise de partícula.	45
Figura 20 – Layout da segunda configuração experimental.	46
Figura 21 – Virtual Dub 1.9.11 – Transformando vídeo em sequências de imagens.....	48
Figura 22 – Fluxograma do processamento de imagens da segunda configuração experimental.	49
Figura 23 – Fluxograma para o processamento de imagens da terceira configuração experimental.	53
Figura 24- Pré-resultado da multiplicação entre o resultado e ele mesmo.	54
Figura 25 – A imagem (a) representa uma imagem com valores na escala de cinza e um pixel central em que será executado o filtro de suavização (<i>smooth</i>) e (b) o valor central dos pixels é a média de todos os vizinhos. Este processo se repete em todos os pixels da imagem.	55
Figura 26 – Imagem binária após o processamento de limiarização.....	56
Figura 27 – Pré-resultado sumarizado após a análise de partículas.	56
Figura 28 – Imagens obtidas a partir da configuração experimental 1.....	59
Figura 29 – Proposta para futuros trabalhos para sanar os problemas de limpeza do anteparo.	60
Figura 30 – Imagem obtida pela segunda configuração experimental, alto ruído na imagem causado pela alta velocidade dos dispersóides.....	61
Figura 31 – Imagem obtida após o processamento de imagem. Em seguida, utilizou-se uma parametrização para retirar os valores em questão.	62
Figura 32 - Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre cinco médias por concentração ..	65

- Figura 33** - Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre dez médias por concentração.66
- Figura 34** - Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre quinze médias por concentração.66
- Figura 35** - Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre vinte médias por concentração. ..67
- Figura 36** - Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre vinte e cinco médias por concentração.67
- Figura 37** - Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre trinta médias por concentração...67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Escopo	14
1.2	Objetivos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Processamento de imagens	16
2.2	Etapas do processamento de imagens	18
2.2.	Aquisição	18
2.2.2	Transmissão	20
2.2.3	Pré-processamento	21
2.2.4	Processamento	21
2.2.1	ImageJ	22
2.2.2	Métodos de processamento de imagem	22
2.2.2.1	Limiarização	23
2.2.2.2	Segmentação	23
2.2.3	Reconhecimento e interpretação	24
2.2.4	Base de conhecimento	25
2.3	Poluição atmosférica	25
2.3.1	Material particulado	26
2.3.2	Doenças causadas por poluentes particulados	27
2.3.2.1	Silicose	27
2.3.2.2	Pó de madeira	28
2.3.3	Problemas relacionados às indústrias	28

2.3.3.1	Mineração	28
2.3.3.2	Risco de explosão em áreas classificadas.....	28
2.4	Metodologias existentes para análise de partículas.....	31
2.4.1	Espalhamento de luz.....	32
2.4.2	Sedimentação gravitacional (Lei de Stokes).....	34
2.4.3	Método padrão da Fundacentro - Coleta de dispersóides sólido em filtro de membrana	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	Configurações experimentais	37
3.1.1	Primeira configuração experimental	37
3.1.1.1	Processamento de imagens da primeira configuração experimental	39
3.1.2	Segunda configuração experimental	45
3.1.2.1	Processamento de imagens da segunda configuração experimental	47
3.1.3	Terceira configuração experimental	50
3.1.3.1	Processamento de imagens da terceira configuração experimental	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	Primeira configuração experimental	58
4.2	Segunda configuração experimental	60
4.3	Terceira configuração experimental	62
5	CONCLUSÃO	69
6	REFERÊNCIAS	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de partículas adicionadas no ambiente.....	571
Tabela 2 – Sumário do pré-resultado da análise de partículas pelo ImageJ	57
Tabela 3 – Pré-resultados de cada área das partículas analisadas.	57
Tabela 4 – Média entre cinco resultados por concentração	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 Escopo

A área de processamento de imagens vem apresentando expressivo desenvolvimento, nos últimos anos, em diversos campos profissionais, como engenharia, informática, matemática e física, entre outras. Tal crescimento pode ser detectado, principalmente, no meio acadêmico, no qual o assunto é objeto de pesquisas.

Diversos temas científicos são abordados e, entre alguns casos de caráter interdisciplinar, podem ser citadas a compreensão de imagens, a análise em multifrequência, a análise estatística, a codificação e a transmissão de imagens. O termo análise de imagens está relacionado à parte do tratamento em que existe uma descrição da informação nela presente, chamada de parametrização e várias medidas quantitativas são utilizadas para descrever diferentes informações dentro de uma imagem.

O processamento de imagens digitais envolve procedimentos normalmente expressos sob a forma algorítmica. Geralmente, este sistema pode ser dividido em diversas etapas, como aquisição, transmissão, pré-processamento, processamento (que envolve várias técnicas), parametrização e, o principal, que é a base do conhecimento. Em função disso, com exceção das etapas de aquisição e exibição, a maioria das funções de processamento de imagens pode ser implementada via software.

Alguns autores já utilizam esses métodos para caracterizar e quantificar alguns princípios físicos. Como exemplo, Botega et al. (2009) desenvolveram um equipamento cujo alicerce era o processamento de imagem, em que uma luz coerente iluminava, por certo período, uma folha de café, por meio das técnicas de análise. Considerando processos como o das diferenças generalizadas entre as imagens, estes autores conseguiram provar que o laser não influenciava o

material biológico. Vários outros autores também utilizam estas técnicas para a avaliação ou a quantificação de materiais biológicos. Porém, hoje, na literatura, não existe um equipamento para a quantificação de concentração de dispersóides no ambiente baseado nestas técnicas.

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, resultantes da atividade humana ou de processos naturais, em concentrações suficientes para interferir, direta ou indiretamente, na saúde, na segurança e no bem-estar dos seres vivos. No meio agrícola existem processos que geram esta poluição e podem-se citar alguns vasos, como o processamento de madeira, a calcinação, o processamento de grãos e a colheita mecanizada, entre outros. Estas partículas são geradas pela ruptura mecânica de sólidos, como minerais ou vegetais, que podem ser chamadas de poeira ou dispersóides, partículas extremamente pequenas em suspensão na atmosfera, transportadas pela corrente de ar.

Vários métodos instrumentais foram utilizados na investigação científica e das tecnologias industriais, a fim de estudar as características e o comportamento de sistemas constituídos por micropartículas. Portanto, cada técnica de análise é baseada em princípios físicos diferentes e os resultados obtidos por elas podem, também, ser diferentes.

1.2 Objetivos

Objetivou-se, neste projeto, desenvolver um equipamento que fosse capaz de medir, detectar e monitorar a concentração de partículas em suspensão em um ambiente, utilizando o processamento de imagens. Este instrumento foi construído para que fosse robusto, de precisão e baixo custo para adquirir os componentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processamento de imagens

A área de processamento de imagem e visão de máquina vem apresentando expressivo desenvolvimento, nas últimas décadas, em diversas áreas profissionais, como engenharia, informática, matemática e física, dentre outras. Tal crescimento pode ser detectado, principalmente, na área acadêmica, na qual o assunto é objeto de pesquisas.

Diversos temas científicos são abordados e, entre alguns casos de caráter interdisciplinar, podem-se citar a compreensão de imagens, a análise em multifrequência, a análise estatística, a codificação e a transmissão de imagens. Na esfera industrial, a cada dia, aumenta o número de empresas que produzem, comercializam e utilizam soluções de processamento eletrônico de imagens em seus processos e na vida cotidiana, com a popularização dos computadores pessoais e das aplicações multimídia (ALBUQUERQUE, 2000; MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Um dos objetivos do processamento digital de imagens é melhorar, poder melhorar ou destacar algumas características e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, tanto para o analista humano quanto para um programa, inclusive, gerando produtos que possam ser, posteriormente, submetidos a outros processamentos. A principal função do processamento digital é prover ferramentas para a identificação e a extração das informações compreendidas nas imagens, para posterior interpretação (ALMEIDA, 2001).

O alicerce do processamento de imagens deriva da análise de sinais. O pixel (do inglês *picture element*) é o menor ponto, que, é possível de representar um ponto de cor dentro de uma imagem digital, e milhares de pixels modelam uma imagem (GONZALEZ; WOODS, 2010).

A investigação quantitativa e a compreensão de imagens representam, nos dias de hoje, um ponto de apoio importante em diversas disciplinas científicas, como é o caso, por exemplo, da biofísica, da medicina, das físicas, das engenharias e da agropecuária. No passado, o termo imagem estava relacionado ao domínio da luz visível, porém, sucessivamente, nos dias de hoje, ouve-se falar de imagens quando uma grande quantidade de dados está representada sob a forma bidimensional, como, por exemplo, as imagens acústicas, sísmicas, de satélites, infravermelhas e magnéticas (ALBUQUERQUE, 2000).

O processamento de imagens, quando associado a sistemas experimentais, é bastante dependente do problema a ser resolvido. A principal etapa para que ele se complete integralmente é a fase de pré-tratamento, seja dentro ou fora da imagem. Por exemplo, o controle da iluminação externa pode ser um fator importante quando há necessidade de aperfeiçoar o sistema computacional. Uma técnica de processamento de imagens pode ser, de maneira geral, dividida nas etapas, conforme é mostrado no Quadro 1 (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Quadro 1 Etapas de um sistema de processamento de imagem

	Etapa	Resumo
1	Tratamento fora da imagem	Correção de iluminação, uso de colorantes químicos, etc.
2	Aquisição da imagem	Amostragem, armazenamento e compactação.
3	Segmentação da imagem	Extração dos objetos do fundo da imagem
4	Parametrização	Determinação de grandezas sobre cada objeto: área, perímetro, forma, descrição estrutural, etc
5	Reconhecimento	Classificação dos objetos
6	Análise quantitativa	Associação das grandezas ao problema: determinação de funções de correlação espacial ou temporal, análise de sequência de imagens, etc

Fonte: Marques Filho e Vieira Neto (1999)

Nos tópicos a seguir discorre-se detalhadamente sobre cada uma dessas etapas. Vale salientar que a sequência citada no Quadro 1 é, geralmente, utilizada nos processamentos de imagem e, dependendo do caso, pode-se mudar a sequência ou, mesmo, utilizar outros tipos de processamento.

2.2 Etapas do processamento de imagens

2.2.1 Aquisição

A aquisição de imagem pode ser chamada qualificada, como o ato da conversão de uma cena real tridimensional em uma imagem analógica, ou seja, tem o papel de transformar uma cena real em uma representação numérica adequada para os outros passos do processamento digital.

A quantização é a técnica utilizada para transformar uma sena real em um conjunto de sinais, que, após a uma discretização espacial ao longo das coordenadas “X” e “Y”, pode-se descrever uma amostra quantizada, ou, representada pela matriz de M por N pontos, cada um denominado pixel, como é mostrado na equação 1 ou, então, representado numericamente, como na Figura 1 (BANON, 2000).

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 1 Representação numérica da matriz de uma imagem

Fonte: Banon (2000)

Maiores valores de M e N implicam em uma imagem de alta resolução.

Esta aquisição pode ser feita utilizando-se o dispositivo de carga acoplada, ou CCD, do inglês *charge-coupled device*, que é formado por um conjunto de prismas e filtros de cor, com função de decompor a imagem colorida em suas componentes R, G e B, cada qual capturada por um CCD independente, como pode ser visualizado na Figura 2 (BLASCO, 2003; KOTOV, 2010).

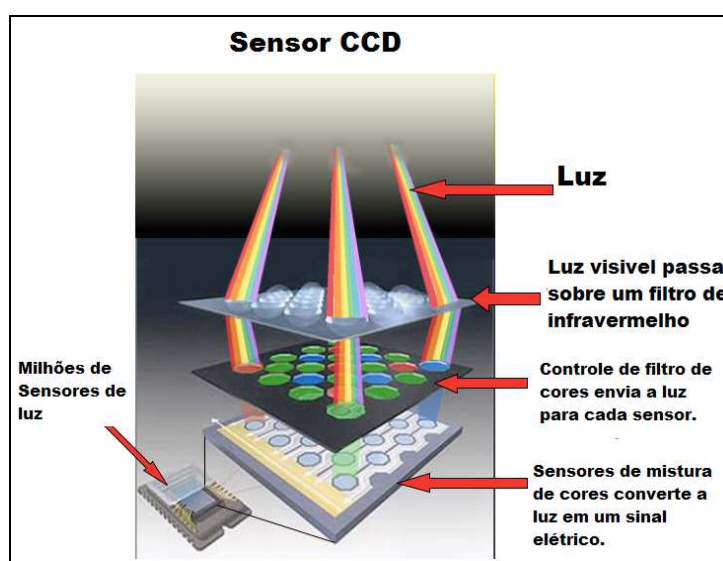


Figura 2 Funcionamento de um sensor CCD
Fonte: Rongtai et al. (2011)

2.2.2 Transmissão

Posterior à digitalização, as imagens podem ser transmitidas a distância, utilizando-se redes de computadores e protocolos de comunicação já existentes, como, por exemplo, o vídeo sobre Protocolo de Internet, ou IP, do inglês *Internet Protocol*, que é uma tecnologia que alia uma câmera CCD com uma interface de rede, possibilitando conectar o aparelho diretamente em uma rede de

dados (*ethernet*). O vídeo fornecido por ele pode ser acessado remotamente, pela rede ou pela internet, facilitando o monitoramento de fenômenos em geral, similar a um simples sistema de segurança, ou um equipamento para monitoramento de fenômenos físicos. Pode-se, também, transmitir a imagem por meio de outros protocolos já existentes, como *bluetooth*, rede *wireless* e USB (do inglês *universal serial bus*), entre outros (WU et al., 2009)

2.2.3 Pré-processamento

A imagem posterior à sua captura e transmissão pode compor diversas imperfeições, tais como contraste e brilho inadequados e zonas ruidosas, entre outras. Desse modo, podem-se utilizar métodos para a correção destas deficiências, como filtros, correção de brilho, correção de contraste, troca do tipo de iluminação e ângulo da lente, entre outros. Estas modificações serão feitas de acordo com a necessidade de cada fenômeno a ser monitorado (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

2.2.4 Processamento

A técnica de processamento de imagens digitalizadas engloba procedimentos geralmente expressos sob a forma algorítmica. Em função disso, com exceção das etapas de captura e exibição, a maior parte do processamento da imagem pode ser praticada via software.

Neste estágio procura-se extrair alguns aspectos das imagens resultantes por meio de descritores que permitam caracterizar com precisão e que apresentem bom poder de separação entre objetos similares. É importante destacar que, neste estágio, a entrada do processamento ainda é uma imagem,

mas posterior a ele será um conjunto de dados correspondentes àquela imagem (GONZALEZ; WOODS, 2010).

2.2.1 ImageJ

ImageJ é um programa de processamento de imagens de domínio público, por meio do qual se pode executar o aplicativo ImageJ tanto online quanto fazer o *download* e instalar em um computador. Todo o seu funcionamento depende de que, no computador, esteja instalado o Java 1.4 ou posterior. A versão disponível para *download* é possível executar tanto em ambiente Windows, como Mac OS, Mac OS X e Linux.

No ImageJ pode-se abrir uma imagem, editar, analisar, processar, salvar e imprimir em imagens 8bit, 16bit e 32bit. Nele podem-se ler vários tipos de imagem, incluindo TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS e imagem "raw". Suporta "stacks", que nada mais são que um conjunto de imagens temporais abertas em apenas uma janela, além de vários *plugins* (um pequeno programa que prove alguma funcionalidade especial) gratuitos disponíveis em sites e fóruns de discussão. Tem várias funções já pré-definidas e uma delas é a calibração espacial, que se pode resumir como demarcar uma dimensão conhecida na foto e transformá-la em uma escala. Assim, todas as medidas ocorridas nos próximos processamentos estarão com dimensões reais, como em milímetro, centímetro e metro (IMAGEJ, 2003).

2.2.2 Métodos de processamento de imagem

Alguns métodos de processamento de imagem são utilizados para extrair informações, de acordo com a necessidade do experimento. Diversos autores utilizam ferramentas de processamento distintas e com diversas estruturas. Serão

descritas a seguir algumas das principais ferramentas utilizadas pelos pesquisadores (LUKAS, 2005).

2.2.2.1 Limiarização

A limiarização (*threshold*) é uma ferramenta de processamento de imagem que permite transformar uma figura colorida RGB (do inglês *red green blue*, ou vermelho, verde e azul) de 32 bits ou em escala de cinza 8 bits, em uma imagem binária, ou melhor, imagem em preto e branco. Ela pode ser utilizada manualmente ou automaticamente. Segundo Wong et al. (2009), a limiarização automática é mais confiável quando é utilizada para segmentar grandes objetos, nos casos em que o histograma de tons de cinza do fundo é claramente bimodal (ou multimodal) e o contraste suficiente para separar claramente o objeto e o fundo (GLASBEY, 1993). Na maioria dos casos, em particular para objetos de pequeno tamanho, em que o alvo representa uma pequena parte do campo de visão, a limiarização automática torna-se difícil.

Esta técnica está sendo utilizada para tornar o processo de análise de imagem mais robusto a variações de iluminação e, principalmente, reduzir a carga computacional; em vez de processar 8 bits, irá processar 2 bits. O método solicita, *a priori*, conhecimentos do modelo ou do padrão visual a ser detectado, que é, geralmente, obtido em uma geração de modelo de supervisão ou etapa de formação do projeto (GONZALEZ; WOODS, 2010).

2.2.2.2 Segmentação

O termo segmentação vem do termo em inglês *image segmentation*, criado durante os anos 1980. Esta ferramenta de análise é, até hoje, uma linha de pesquisa relevante no processamento de imagem, visto que ela é o alicerce de

quase todo o processamento da informação em uma imagem (GONZALEZ; WOODS, 2010).

A segmentação se fundamenta em dividir a imagem em regiões distintas que serão, *a posteriori*, investigadas por algoritmos especializados, à procura de informações ditas de "alto nível". Por exemplo, cada pixel na imagem da Figura 3 pode ser segmentado em duas regiões: pixels pertencentes ao fundo da imagem, representados pela região preta e pixels pertencentes às gotas de água, representados pela cor branca (CRUVINEL et al., 1999).

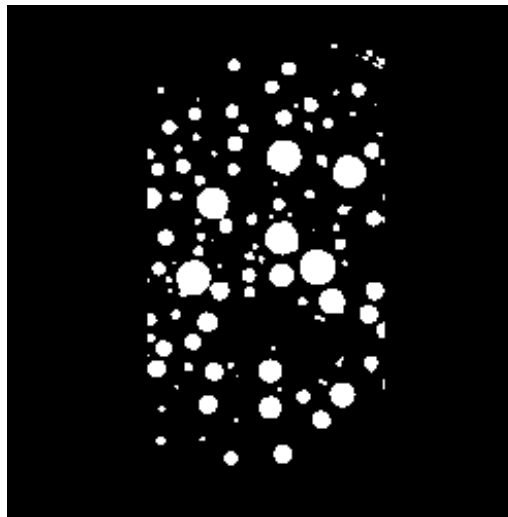


Figura 3 Imagem de gotas de um aspersor utilizado na irrigação de culturas agrícolas, coletadas por meio de papel sensível à água e tratada com processamento de imagem com a ferramenta segmentação

Fonte: Cruvinel et al. (1999)

2.2.3 Reconhecimento e interpretação

Reconhecimento é a parte do processamento que vai categorizar os objetos a partir de informações encontradas na imagem, normalmente tendo como suporte de antemão uma base de conhecimento estabelecida. Esta etapa é, geralmente, aplicada após uma fase de segmentação e parametrização da imagem. A fase de parametrização identifica e calcula parâmetros nos objetos segmentados. Um exemplo de parâmetros pertinentes a um objeto é o seu perímetro ou sua área. A tarefa de interpretação, por outro lado, consiste em atribuir significado a um conjunto de objetos reconhecidos (ALMEIDA, 2001).

2.2.4 Base de conhecimento

Todas as etapas e técnicas descritas pressupõem a existência de um conhecimento sobre o problema a ser resolvido, armazenado em uma base de conhecimento cujo tamanho e complexidade podem variar enormemente. Em determinadas situações, a base de conhecimento pode estar relacionada a uma característica existente, mas não existem informações sobre como a investigação irá se comportar. Existem algumas lacunas na investigação por análise de imagem de dispersóides em suspensão no ambiente, por isso, para que seja desenvolvida uma nova técnica, deve-se ter muita cautela para que haja um produto confiável (WONG et al., 2009).

2.3 Poluição atmosférica

A definição de poluição atmosférica pode ser resumida pela presença de substâncias estranhas no ambiente. São os resultados das atividades humanas ou de processos naturais em níveis de concentração suficientes para prejudicar direta ou indiretamente a saúde, a segurança e o bem-estar dos seres vivos. Além

disso, pode reduzir a visibilidade e a intensidade de luz ou até provocar mau cheiro. (CANÇADO et al., 2006).

2.3.1 Material particulado

No contexto de poluentes atmosféricos, encontram-se os materiais particulados, que são a mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Seu tamanho e constituição dependem das fontes de emissão. São nomeadas partículas grandes aquelas que têm diâmetro acima de 10 μm , normalmente geradas a partir de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo e materiais biológicos (como polens e esporos). Essas partículas são sedimentáveis, ou seja, não permanecem muito tempo em suspensão no ambiente.

Partículas pequenas, ou dispersóides, são aquelas que têm o diâmetro menor de 10 μm , cuja origem pode ser incineradores, transportadores de grãos alimentícios, combustão dos automóveis e indústrias de cerâmica, entre outros. Alguns estudos apontam que os dispersóides podem causar danos aos mecanismos fisiológicos de defesa dos pulmões dos seres humanos e animais, provocando várias doenças respiratórias e alérgicas (BAGATIN; JARDIM; STIRBULOV, 2006; CANÇADO et al., 2006).

Sá (1998) e Bet (2010) citam algumas características desses materiais que podem ocasionar várias interferências nos processos operacionais das indústrias e fazendas, bem como:

- danos aos equipamentos;
- visibilidade prejudicada;
- odores desagradáveis;

- risco de incêndio em silos de grãos e algodozeiras;
- perda de material;
- problemas com a comunidade;
- danos ambientais.

Também provoca danos a seres humanos e a animais como:

- irritação dos olhos.
- irritação do trato respiratório.
- irritação da pele.

2.3.2 Doenças causadas por poluentes particulados

2.3.2.1 Silicose

O episódio da silicose é um antigo problema conhecido da saúde pública. Mesmo assim, sua ocorrência é frequente, em diversas atividades econômicas, como mineração, indústria cerâmica, indústria metalúrgica, nas calcinações, na indústria agropecuária e na construção civil, entre outras (FERREIRA; SIQUEIRA; CARNEIRO, 2008) (SOUZA; QUELHAS, 2003).

Segundo Margarida et al. (2006), nos dispersóides gerados nos processos industriais existe uma correlação de causar a Silicose em trabalhadores. Esta ameaça está associada, principalmente, ao tamanho das partículas do material particulado disperso no ar, à concentração de sílica na forma livre e cristalina, de dióxido de silício cristalino (SiO_2) com partículas menores que $10 \mu\text{m}$ e ao tempo que os trabalhadores passam inalando este pó. Pode ocorrer, geralmente, uma fibrose pulmonar nodular difusa.

No Brasil, o limite de exposição de poeira respirável para dispersóides contendo sílica livre cristalizada, de acordo com a legislação do Ministério do

Trabalho, é de $0,05\text{mg}/\text{m}^3$ de poeira de sílica respirável (BRASIL, 2011; PINTO; SILVA, 2001).

2.3.2.2 Pó de madeira

Poeira de madeira sempre esteve associada a uma grande variedade de doenças respiratórias, sendo uma das causas de câncer de vias nasais. Em relação às doenças respiratórias não malignas, a maioria dos casos é baseada nos estudos cruzados, nos quais há um aumento dos casos de asma, bronquite crônica, sintomas nasais e sintomas nos olhos que estão sendo relatados. Em alguns estudos foi mostrado um aumento desta correlação com uma redução na função pulmonar e, em outros, há relação entre resposta à dose por meio da exposição poeira de madeira e a insuficiência respiratória (JACOBSEN et al., 2009).

2.3.3 Problemas relacionados às indústrias

2.3.3.1 Mineração

Diante de vários processos antrópicos, a mineração contribui para a poluição do ar, principalmente por dispersóides. Atualmente, para o controle da poeira suspensa no ar, as mineradoras estão utilizando sistemas de irrigação por aspersão nas estradas de chão e nas áreas de processamento. Os aspersores aceleram o processo de sedimentação quando é borrifada água sobre a poeira, pois as partículas irão se juntar com a água. Porém, a aplicação é subjetiva (RUEDA; SANTOS; RABELO, 2006).

2.3.3.2 Risco de explosão em áreas classificadas

As explosões que ocorrem nos processos industriais, praticamente, sempre são iniciadas dentro dos equipamentos de processamento de grãos, como secadores, classificadores, correias de transporte e silos de armazenamento (BET, 2010). Para vários tipos de poeira existem quantidades para que ocorra a explosão. Este fator é verificado pela ciência e tecnologia de partículas suspensas, ou dispersóides. Em geral, a faixa de concentração de poeira explosiva é limitada. Para partículas orgânicas, esta característica pode partir de 100 mg.m^{-3} até alguns kg.m^{-3} , como ilustrado na Figura 4 (ECKHOFF, 2009).

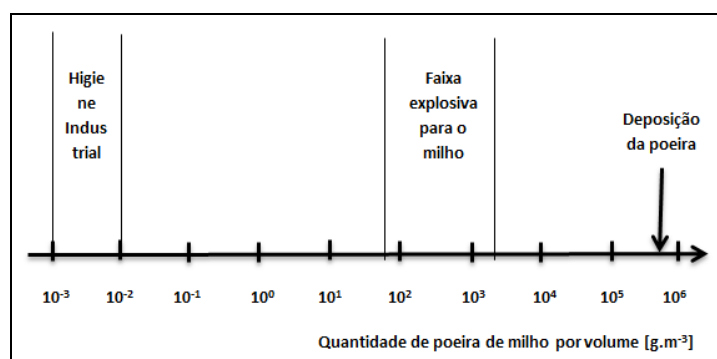


Figura 4 Faixa de concentração de poeira explosiva no ar, em temperatura e pressão normal para uma partícula orgânica. E.g. amido de milho
Fonte: Eckhoff (2009)

Neste contexto, estas áreas nas quais se formam nuvens de poeiras com propriedades explosivas são chamadas áreas classificadas. Na Figura 5, estima-se o risco de formação de dispersóides combustíveis em cada atividade humana, sendo possível visualizar a percentagem de poeira gerada de diversas origens (SÁ, 1998).

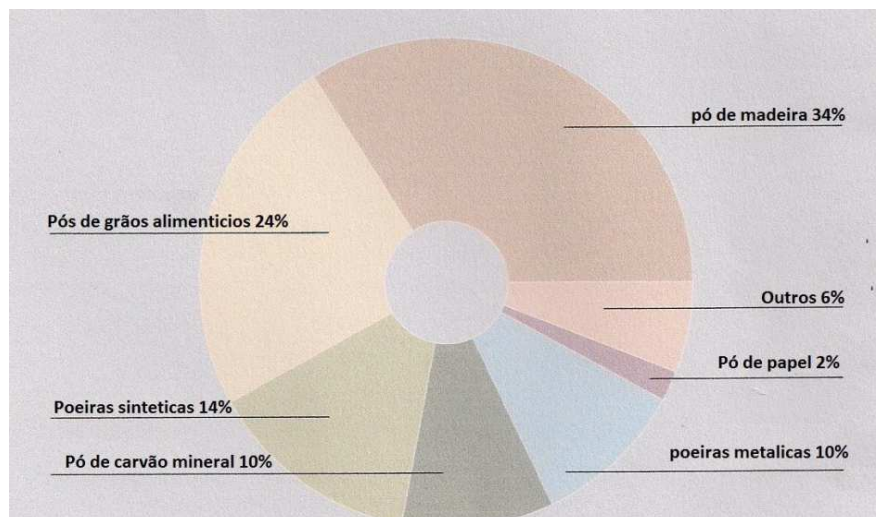


Figura 5 Poeiras envolvidas em explosões no mundo

Fonte: Sá (1998)

Na Figura 6 podem-se observar danos causados pelo excesso de dispersões de cereais suspensos nas áreas classificadas, após uma pequena centelha causada pela instalação elétrica. A energia estática, criada entre os equipamentos e o movimento dos grãos, também pode gerar esta centelha. No caso mostrado, os danos atingiram os pavilhões, os equipamentos de beneficiamento e os elementos transportadores.



Figura 6 Explosões por excesso de poeira de cereais em suspensão e uma pequena centelha elétrica

Fonte: Bet (2010)

Tanto para a saúde do trabalhador quanto para o risco de explosões que podem ocorrer com a alta concentração dos dispersóides, o principal fator é a concentração de material suspenso no ambiente. Nos próximos tópicos estudam-se algumas metodologias existentes para mensurar esta característica física.

2.4 Metodologias existentes para análise de partículas

Segundo Iacocca e German (1997), Maltsev (2000) e Parini (2003), vários métodos instrumentais foram utilizados na investigação científica e das tecnologias industriais, a fim de estudar características e comportamento de sistemas constituídos por micropartículas. Na Figura 7 são apresentadas partes destas técnicas, porém, a maioria delas é empregada apenas para identificar o tamanho da partícula, deixando para o lado as suas concentrações no ambiente.

Como cada técnica de análise é baseada em princípios físicos diferentes e os resultados obtidos por estas análises podem, também, ser diferentes. Além disso, os fabricantes de equipamentos de análise utilizam projetos de construção distintos, o que, também, pode acarretar resultados diferentes, mesmo entre equipamentos que utilizam o mesmo princípio físico básico.

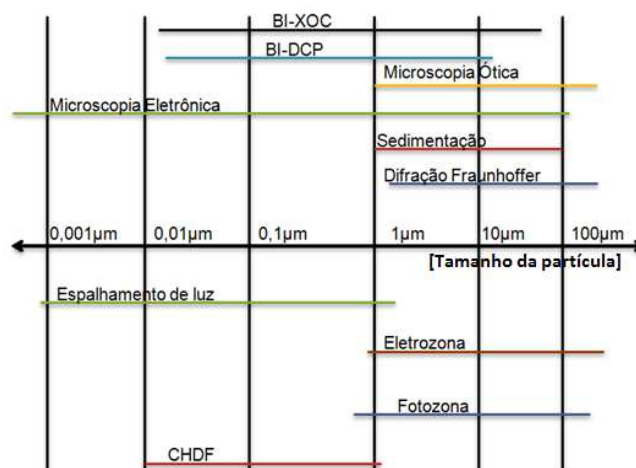


Figura 7 Técnicas de análise de tamanho de partícula com faixas limites de medidas. BI: disco centrífugo; DCP - detecção óptica; XDC - detecção por raios X. CHDF - distribuição de partícula em alta resolução
Fonte: Parini (2003)

Todos esses métodos são de difícil acesso para pequenas empresas que queiram fazer o monitoramento de partículas dentro e fora do ambiente de trabalho. Estes equipamentos, geralmente, são caros e de difícil manuseio e, como consequência, há a necessidade de pessoas especializadas para tal função. Os métodos são pouco portáteis, tornando o equipamento inadequado para determinadas aplicações.

2.4.1 Espalhamento de luz

O espalhamento de luz (em inglês *scattering*) é uma abordagem muito utilizada para a contagem de tamanho de partículas em laboratórios de pesquisa acadêmica. Um feixe de luz é direcionado por meio de uma amostra e fração de luz espalhada é coletada. Outra abordagem para o espalhamento de luz é

focalizar um raio laser para a frente, por meio de uma janela, em uma ponta da sonda, e coletar a luz laser dispersada de volta para a sonda (COOKE; KERKER, 1975)

Utilizando esse conceito, o equipamento HAZ-DUST - EPAM 5000 tem características de medição de dispersóides no ambiente. Para seu funcionamento, ele combina a tradicional técnica gravimétrica com a dispersão de luz infravermelha, que permite medir, em tempo real, a concentração de pó, na escala de mg.m^{-3} . O aparelho utiliza uma fonte de luz infravermelha posicionada em um ângulo de 90° de um fotodetector (Figura 8). As partículas presentes no ar passam no feixe de infravermelho, dispersando a luz e, assim, a quantidade de luz recebida pelo fotodetector é diretamente proporcional à concentração de poeira presente no ar (COSTA; GUARINO, 2009).

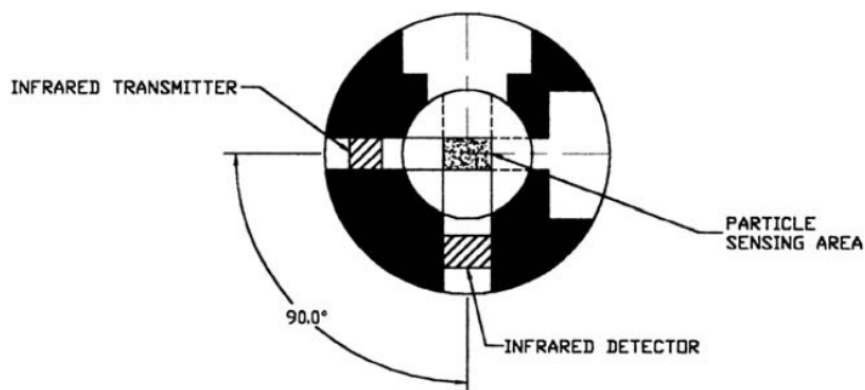


Figura 8 Diagrama mostra o princípio de dispersão da luz infravermelha utilizado na amostra de poeira

Fonte: Costa et al. (2009)

Rufino (2011) criou um sistema de monitoramento de concentração de dispersóides utilizando o princípio do espalhamento de luz, capaz de detectar e monitorar a concentração de partículas, utilizando como base o espalhamento de luz. É um equipamento portátil que utiliza uma interface gráfica de fácil programação, como mostrado na Figura 9. Este projeto foi capaz de ter boas respostas, tanto com pó de amido quanto para pó de madeira.

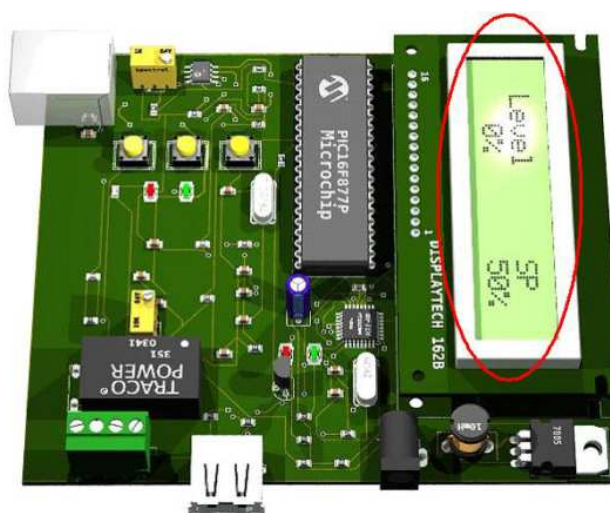


Figura 9 Placa controladora principal

Fonte: Rufino (2011)

2.4.2 Sedimentação gravitacional (Lei de Stokes)

É uma técnica de medida baseada na lei de Stokes da fluidodinâmica, em que as partículas do pó, dispersas num fluido (líquido ou gasoso), sofrem decantação pela ação da gravidade. O método da sedimentação é utilizado em um equipamento comercial chamado *Sedigraph*, no qual as partículas de tamanhos diferentes caem em velocidades diferentes, por meio de um líquido de viscosidade conhecida.

Rueda, Santos e Rabelo (2006) utilizaram o método de sedimentação para desenvolver um controle automático do nível de poeira baseado em microcontrolador, conforme Figura 10. Conforme a poeira que está no ambiente é depositada sobre o anteparo, os raios formados no emissor ficarão bloqueados nas partículas sedimentadas, sendo assim possível estimar quando há necessidade de aspergir sobre um local a ser controlado. O tempo de irrigação pode ser configurado, no microcontrolador, pelo usuário, podendo se adequar à necessidade de irrigação de cada local.

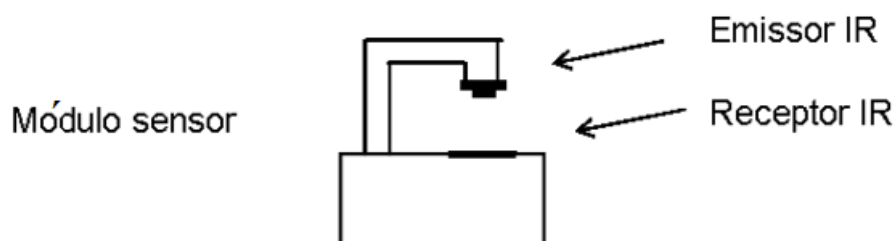


Figura 10 Configuração experimental do sensor

Fonte: Rueda et al. (2006)

2.4.3 Método padrão da Fundacentro - coleta de dispersóides sólido em filtro de membrana

Pinto e Silva (2001) e Margarida et al. (2006) utilizaram uma metodologia para quantificar a poeira, avaliando individualmente cada trabalhador das áreas operacionais em usinas de demolição e processos de fabricação de revestimentos cerâmicos. Neste método utilizam-se as amostras de poeiras coletadas por bombas de amostragem individual, calibradas na vazão de 1,7 litros por minuto e acopladas a um ciclone de náilon. Ele contém um porta-filtro de três corpos, com filtros de membrana de PVC (Figura 11), sempre

seguindo o método de coleta da Norma de Higiene Ocupacional, elaborada pela FUNDACENTRO (NHO-08), Coleta de dispersóides sólido em filtro de membrana. A bomba é fixada na cintura do trabalhador e o ciclone no ombro, próximo à sua zona respiratória (SANTOS; AMARAL, 2001).

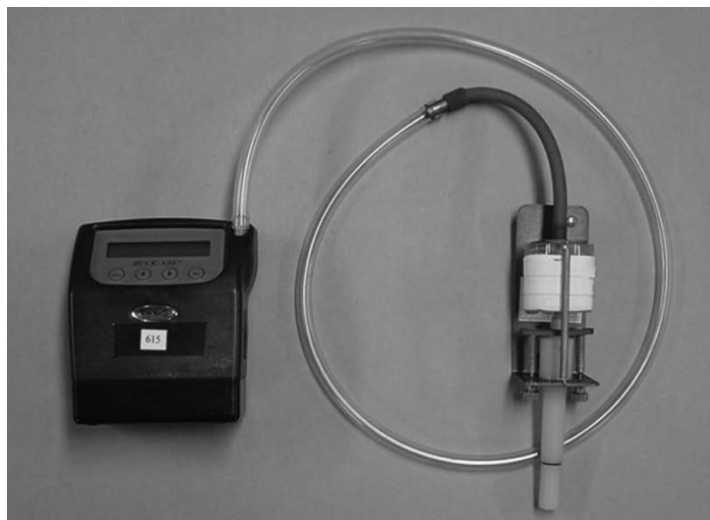


Figura 11 Equipamento de amostragem de poeira montado, formado pela bomba, ciclone Dorr-Oliver e porta-filtro com o filtro de membrana
Fonte: Margarida et al. (2006)

A análise gravimétrica das amostras de poeira é realizada pelo método de ensaio descrito na Norma de Higiene Ocupacional NHO-03: Análise gravimétrica de dispersóides coletados sobre filtros de membrana e a análise de sílica livre cristalizada, pelo método especificado pela *National Institute of Occupational Safety and Health*. Cada amostra é pesada e, posteriormente, analisada individualmente (SANTOS; AMARAL, 2001). Como se pode ver, este método depende de uma movimentação dos filtros, com as partículas presas

a ele, até o laboratório, para fazer a pesagem de cada amostra. Este processo pode ter influência antrópica e os resultados podem variar de acordo com a subjetividade de cada indivíduo (MARGARIDA et al., 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado nos laboratórios do Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária, CEDIA, situado na Universidade Federal de Lavras, os quais são providos de equipamentos capazes de realizar a aquisição de imagens. Os principais equipamentos disponíveis são computador, câmera digital, bancadas óticas e outros acessórios.

As características do computador utilizado são as seguintes: notebook Asus EEEPC1200N: processador dual core com 4 threads de 1,6 Ghz, 4 Gb de memória RAM e HDD de 500 Gb.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram analisados vários fatores que contribuíssem para atingir os objetivos. Inicialmente, foram estudadas algumas maneiras de simular o ambiente poluído com partículas suspensas porque, além de controlar a concentração de dispersóides, a instalação deve ser de volume conhecido, sem interferências externas e de fácil reprodução no laboratório.

3.1 Configurações experimentais

3.1.1 Primeira configuração experimental

Para a simulação do ambiente, foi utilizada uma caixa de PVC de 0,6m x 0,6m X 0,6 m, resultando em um volume total de 0,216 m³. Dentro deste cubo foi inserido um habitáculo para o sensor (uma câmera CCD – Microsoft Livecam VX1000) e a fonte luminosa LED (do inglês *light emitter diode*, ou

diodo emissor de luz), e sobre eles foi colocado um vidro de 2 mm de espessura, como anteparo. Um par de ventoinhas, com rotação de 2.800 rpm, foi instalado para criar uma corrente de ar ascendente. A disposição de cada componente pode ser visualizada na Figura 12.

A simulação das partículas foi realizada com a aplicação de uma medida de amido de milho no ambiente. Após alguns instantes, as partículas sedimentaram-se sobre o vidro utilizado como anteparo.

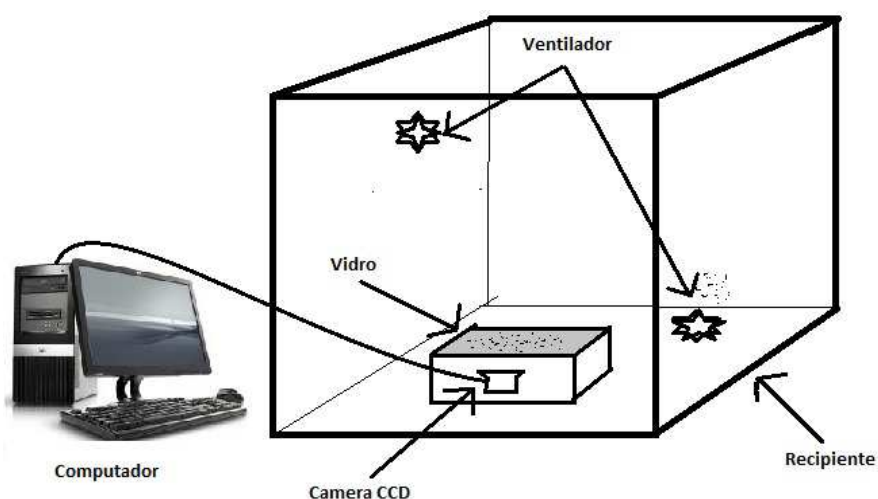


Figura 12 Primeira configuração experimental

O computador ligado na webcam via USB utilizava um sistema de captura com intervalos configuráveis, desde 0,1 s a 3.600 s, utilizando um programa gratuito chamado Dorgem (DORGEM, 2012). Para iniciar o processo de captura, utilizou-se papel toalha com álcool etílico, para retirar todas as impurezas e partículas sobre o anteparo. Em seguida, foi capturada uma imagem nomeada imagem padrão, para realizar as diferenças nos próximos passos. Após a injeção do material dentro do ambiente controlado (10 g de amido de milho em

pó), utilizando o software Dorgem, foi capturada, de 5 em 5 minutos, uma imagem, totalizando um período de 30 minutos. Supondo que os dispersóides sedimentavam com o tempo, cada uma destas figuras criadas deveria ter uma quantidade de poeira em seu conteúdo.

Para realizar os tratamentos necessários, para análise da imagem e para retirar valores quantitativos de cada período, foi utilizado o software gratuito ImageJ, para processar, filtrar e analisar.

3.1.1.1 Processamento de imagens da primeira configuração experimental

Verificando que uma imagem é considerada uma matriz, alguns cálculos matemáticos foram executados para que o resultado viesse à tona. A diferença entre a imagem do instante “0” (que chamamos anteriormente de “imagem padrão”) e a imagem do instante 5 minutos gera uma terceira imagem contendo apenas as partículas que foram depositadas sobre o vidro. Neste processo, qualquer interferência ou ruído causado pelo ambiente são excluídos.

Um fluxograma, contendo todos os passos para que o processamento da imagem seja concluído com sucesso, é mostrado na Figura 13, seguido de um passo a passo para a utilização do processamento no *software* ImageJ.

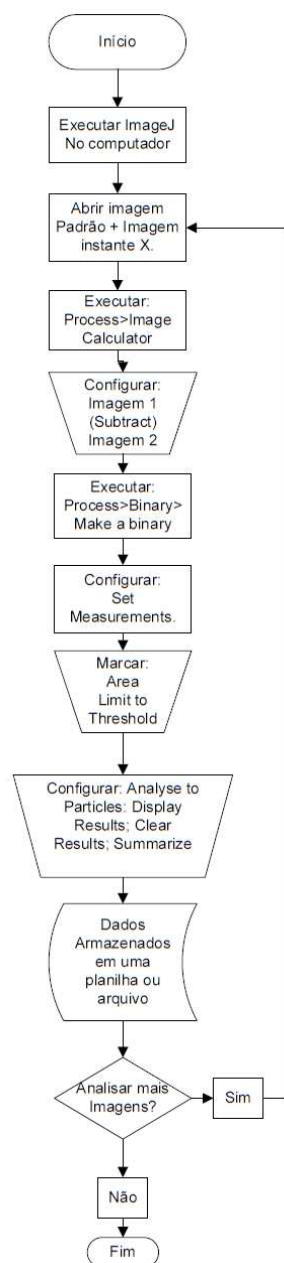


Figura 13 Fluxograma do processamento de imagens da primeira configuração experimental

O processamento no ImageJ pode ser realizado com o seguinte passo a passo: primeiramente, é necessário subtrair a imagem padrão da imagem do próximo instante (Figura 14). No ImageJ, utilizam-se os seguintes passos:

Process>image calculator> Image 1 (Operation – Subtract) image 2.

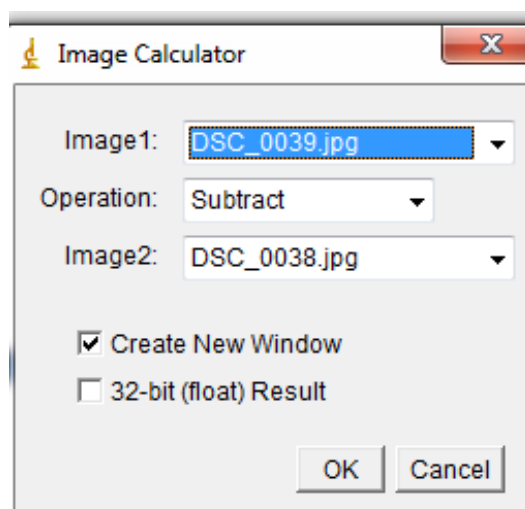


Figura 14 Tela: diferença entre imagem padrão da imagem do instante 5 minutos – ImageJ

O processo de limiarização retira as informações impertinentes, deixando apenas o objeto em estudo (GLASBEY, 1993). No ImageJ, utilizam-se os comandos *Process> binary> make a binary*,

A imagem binária está pronta para ser segmentada e parametrizada, de acordo com o objetivo deste projeto. Os comandos a serem utilizados são:

1º passo: segmentação

Analyze>set measurements...

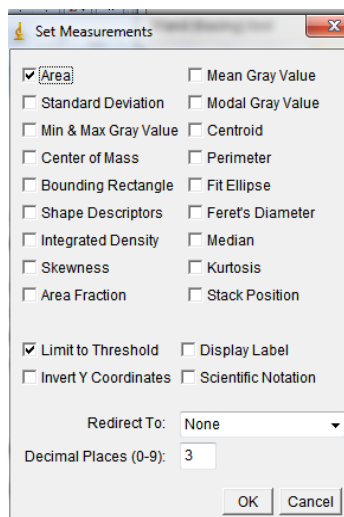


Figura 15 *Set Measurements* IMAGEJ

Como se observa na Figura 15 é possível marcar quais parâmetros serão necessários para a análise. Neste caso, é necessário quantificar a área dos dispersóides que ficaram depositados sobre o vidro. Então, os parâmetros que serão marcados são *área* e *limit to threshold*.

Para concluir o processo de segmentação, devem ser seguidos os passos descritos a seguir e visualizados na Figura 16.

No ImageJ: *Analyze>Analyze Particle...*

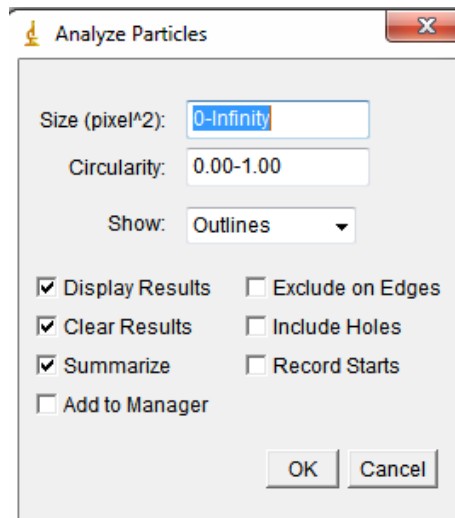


Figura 16 *Analyse Particles*: ImageJ

No presente trabalho, as opções foram selecionadas conforme a Figura 16. Posterior à confirmação destes parâmetros, surgirão três janelas, apresentando os pré-resultados, as quais estão representadas nas Figuras 17, 18 e 19.

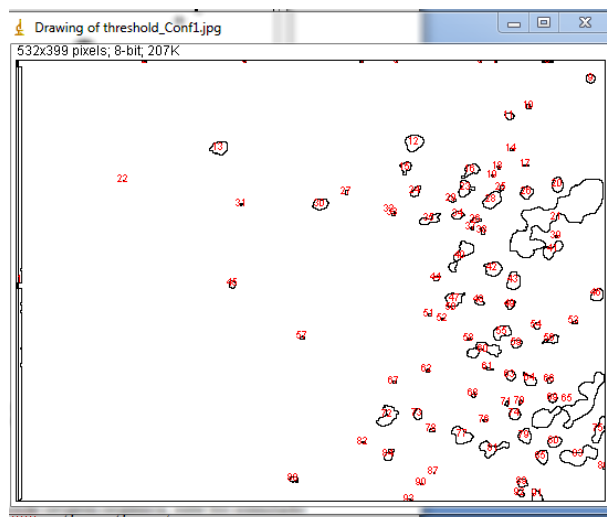


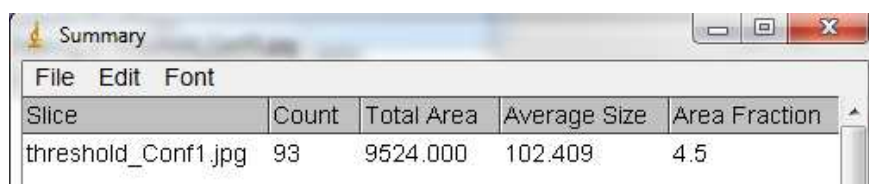
Figura 17 Demonstração das partículas analisadas e sumarizadas

File	Area	Mean	Min	Max
87	1	255	255	255
88	30	255	255	255
89	51	255	255	255
90	2	255	255	255
91	78	255	255	255
92	28	255	255	255
93	7	255	255	255

Figura 18 Pré-resultados obtidos em cada partícula analisada

Os pré-resultados mostrados na Figura 18 representam, na coluna 1, o número da partícula analisada e, na coluna 2, a área encontrada em pixels. As colunas 3, 4 e 5 não serão utilizadas no presente trabalho.

Para facilitar o cálculo da fração de área que as partículas estão representando dentro da imagem, uma terceira janela é aberta, com o sumário dos resultados (Figura 19). Visualizam-se, na coluna 1, nome da imagem; na coluna 2, contagem das partículas; na coluna 3, total de área, em pixels, da imagem; na coluna 4, a soma de todas as partículas e, na coluna 5, o valor, em porcentagem, de área ocupada pelas partículas.



Slice	Count	Total Area	Average Size	Area Fraction
threshold_Conf1.jpg	93	9524.000	102.409	4.5

Figura 19 Sumário dos resultados obtidos com a análise de partícula

Este resultado pode ser comparado com a próxima imagem capturada (instante 10 minutos). Com a diferença entre os valores encontrados é possível criar um padrão para indicar a deposição da poeira em um determinado ambiente.

3.1.2 Segunda configuração experimental

Com a necessidade de mensurar o dispersóides em suspensão no próprio ambiente, foi estudado um segundo protótipo, considerando as pesquisa de Rufino (2011). Porém, em vez de utilizar um receptor fotocromico como sensor, foi utilizado um minimicroscópio Celestron eletrônico, de baixo custo (R\$140,00).

Para a simulação do ambiente, foi utilizado um tubo de cloreto de polivinila PVC, com 200 mm de diâmetro e 550 mm de altura e luvas de 200 mm para fechamento das extremidades. Estes produtos podem ser encontrados em lojas de materiais para construção. Na extremidade inferior foi colocada uma ventoinha similar à que se utiliza em computadores pessoais, com rotação nominal de 2.800 rpm, alimentada com uma fonte de tensão de 12 volts.

O ventilador inserido dentro do tubo para suspender pode causar uma turbulência, gerada pelo movimento das hélices, nomeada de vórtices. Foi colocado um funil para diminuir este fenômeno e, por último, criou-se uma janela de acrílico, possibilitando instalar um microscópio eletrônico com características de uma webcam, em conjunto com um jogo de lentes que pode ser ligado via USB do computador, como se observa na Figura 20.

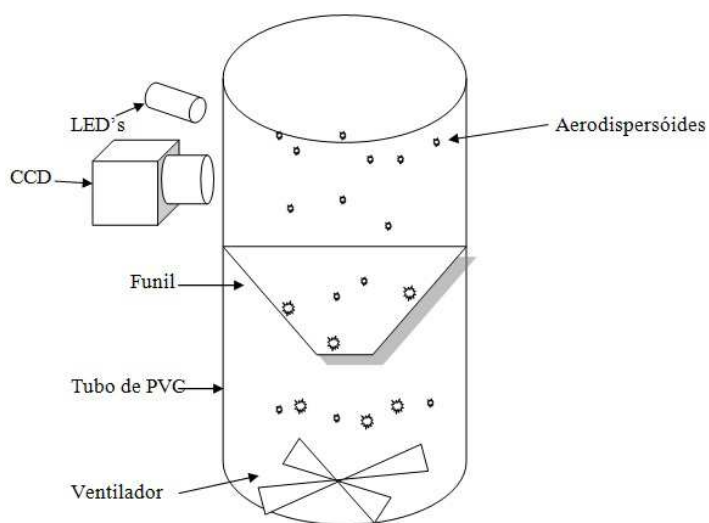


Figura 20 Layout da segunda configuração experimental

3.1.2.1 Processamento de imagens da segunda configuração experimental

Semelhante ao processo anterior, é necessário extrair uma imagem contendo apenas o ambiente intitulado “imagem padrão”. Contudo, o princípio de funcionamento deste sistema é baseado no deslocamento de ar ascendente criado pelo ventilador instalado no fundo do tubo, que faz com que os materiais fiquem suspensos. Um funil foi instalado no intuito de diminuir os vórtices criados pelo movimento axial das pás do ventilador. Estes dispersóides em suspensão foram capturados no momento em que eles passaram à frente do campo de visão do webcam.

A captura das imagens foi realizada pelo programa *Celestron Digital Microscope Suite*, utilizando a função gravação de vídeo. Este equipamento permite gravar vídeos com uma taxa de aquisição de 30 FPS, ou seja, para cada 33,3 milissegundos, é capturada uma imagem do ambiente. Todavia, essas imagens estão contempladas em um vídeo e, por isso, há a necessidade de extrair o conjunto de imagens a partir do mesmo. Para isso, utiliza-se o programa gratuito chamado *Virtual Dub 1.9.11*, com sua tela mostrada na Figura 21, pois nele é possível extrair imagens a partir de um vídeo em qualquer formato. Ou seja, se temos um equipamento que gera um vídeo em 30 FPS e capturamos dez segundos, então o programa irá gerar 300 imagens.

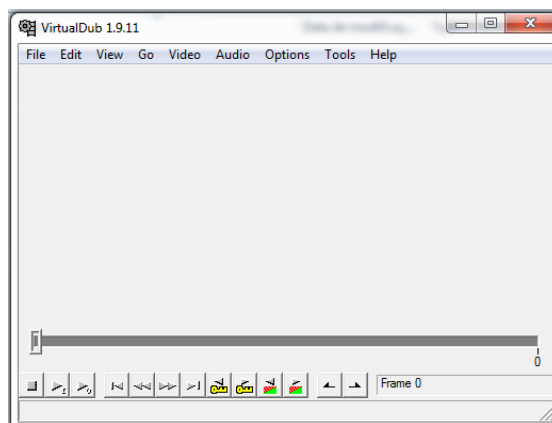


Figura 21 Virtual Dub 1.9.11 – Transformando vídeo em sequências de imagens

Esta sequência de imagens ficará disponível para futuros processamentos utilizando o programa ImageJ. O processamento das imagens adquiridas na segunda configuração experimental foi idêntico ao utilizado na primeira configuração experimental. Se necessário, retornar ao subtítulo “Processamento de imagens da primeira configuração experimental”, porém, seu fluxograma pode ser visualizado na Figura 22.

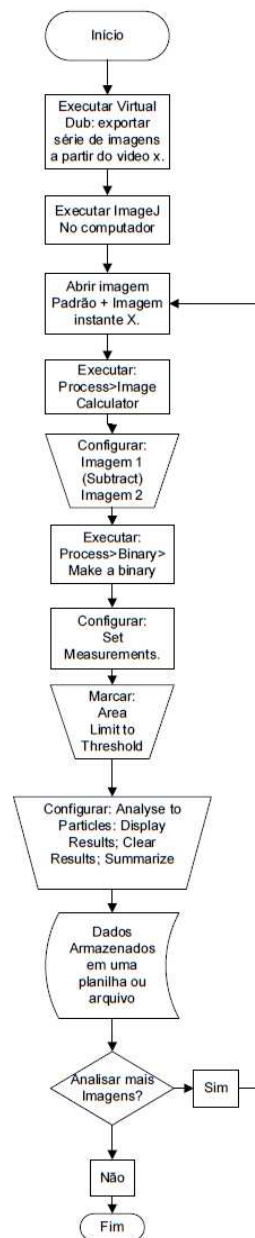


Figura 22 Fluxograma do processamento de imagens da segunda configuração experimental

3.1.3 Terceira configuração experimental

A terceira configuração experimental surgiu da necessidade de diminuir a velocidade das partículas e, para que esta velocidade, dentro do líquido ou do gás diminua, as forças de cisalhamento entre o fluido e a partícula devem aumentar, ou seja, é preciso aumentar a viscosidade. Para isso, estudada a possibilidade de outro fluido, deu-se a preferência para o uso da água, que é um fluido mais viscoso, visto que a viscosidade da água é de $1,00 \cdot 10^{-3}$ P.s, à temperatura de 20 °C e a viscosidade do ar é de $1,82 \cdot 10^{-5}$ P.s, à temperatura de 20 °C, ou seja, 5,5 vezes maior que a do ar (BRUCE; YOUNG; THEODORE, 2004).

Um béquer de 200 ml foi utilizado para simular um ambiente controlado e a água, para diminuir a velocidade dos dispersóides. Iniciou-se o processo de dosagem do pó de café torrado para simular as concentrações das partículas vegetais. Para isso foi utilizada uma balança analítica modelo Mark250A, com precisão de 0,0001 g e as quantidades foram inseridas no ambiente conforme consta na Tabela 1.

Tabela 1 Quantidade de partículas adicionadas no ambiente

Parcela	Adição(g)	Somatória(g)	Nível de Poeira: g.m ⁻³
1	0	0	0
2	0,05	0,05	1
3	0,07	0,12	2,4
4	0,07	0,19	3,8
5	0,12	0,31	6,2
6	0,16	0,47	9,4
7	0,13	0,6	12
8	0,1	0,7	14
9	0,06	0,76	15,2
10	0,09	0,85	17
11	0,15	1	20
12	0,56	1,56	31,2
13	0,71	2,27	45,4

Para capturar os vídeos, foi utilizado o mesmo microscópio eletrônico da segunda configuração experimental. Para cada parcela foi capturado um vídeo de 10 segundos, com taxa de aquisição de 30 quadros por segundo, gerando, em média, 300 imagens por captura. Para transformar o vídeo em um conjunto de imagens, utilizou-se o programa Virtual Dub 1.9.11.

Depois de obtido o conjunto de imagem, o próximo passo foi analisar todas as informações contidas nas imagens e, para isso, utilizou-se novamente o software de análise ImageJ.

3.1.3.1 Processamento de imagens da terceira configuração experimental

Na primeira e na segunda configuração experimental utilizou-se uma imagem padrão, ou seja, com informação somente do ambiente. Neste terceiro caso, utilizou-se a imagem anterior como imagem padrão, pois, se houver alguma partícula que não esteja em movimento ou esteja presa na parede do

vidro, ela se tornará invisível no processamento da imagem. Este novo processamento diminui os possíveis erros causados no sistema.

O fluxograma com o processamento de imagem utilizado na terceira configuração experimental pode ser visualizado na Figura 23.

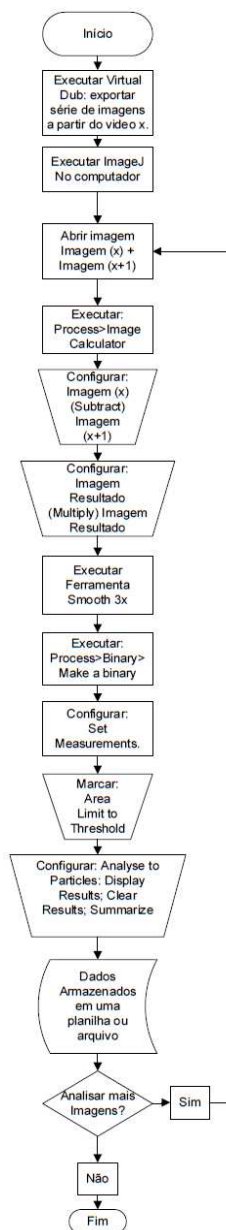


Figura 23 Fluxograma para o processamento de imagens da terceira configuração experimental

Nos próximos parágrafos são descritos detalhadamente os processos realizados no fluxograma acima, Figura 23.

Após o processo de subtração das imagens o resultado foi multiplicado por ele mesmo (Figura 24), este processo feito para potencializar as diferenças entre a imagem e sua posterior. No caso estudado, as partículas que contemplam a imagem ficaram realçadas. Esta operação pode se resumir na seguinte equação:

$$f(x) = \sum_{k=1}^n (I_{k(xy)} - I_{k+1(xy)})^2 \quad (2)$$

sendo

I: a imagem,

K: os pixels dentro da imagem,

n: número de imagens que serão processadas.

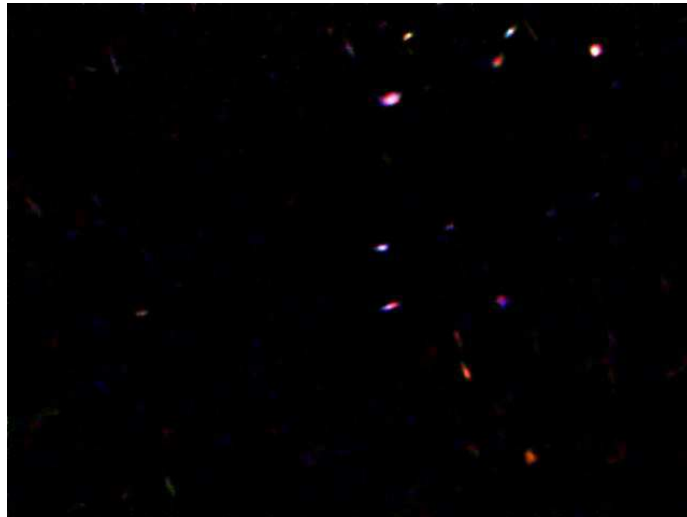


Figura 24 Pré-resultado da multiplicação entre o resultado e ele mesmo

Uma nova imagem é criada em uma janela *Result of imagem1* e o próximo passo é executar três vezes a função *Process>Smooth (3x)*.

O *smooth* é um tipo de filtro que suaviza algumas imperfeições e outros ruídos que não se deseja mensurar. Pode ser resumido da maneira exposta na Figura 25. Para o projeto, este processo é utilizado para retirar todas as informações que podem afetar o processamento automático da imagem.

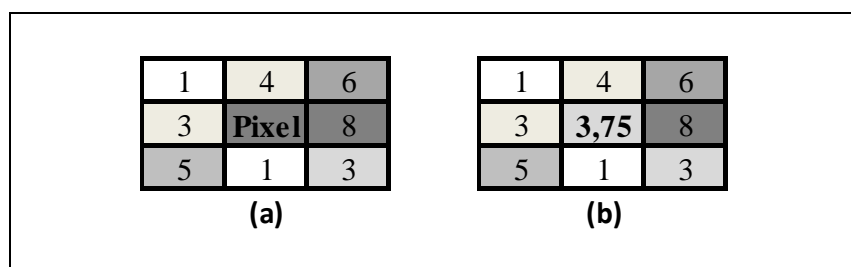


Figura 25 A imagem (a) representa uma imagem com valores na escala de cinza e um pixel central em que será executado o filtro de suavização (*smooth*) e (b) o valor central dos pixels é a média de todos os vizinhos. Este processo se repete em todos os pixels da imagem

Os próximos passos são idênticos ao processamento utilizado na segunda configuração experimental, como segue:

- 1) transformar a imagem em binária, resultando na Figura 26.

Image Process> Make Binary

Os resultados apresentados pelo programa podem ser divididos de duas formas, sumário (Tabela 2) e resultado (Tabela 3).

Tabela 2 Sumário do pré-resultado da análise de partículas pelo ImageJ

Resultados ImageJ - Sumário			
Contagem de Partículas	Área Total Oculada	Média de tamanhos	Fração de Área Ocupada
15	630	42	2%

Tabela 3 Pré-resultados de cada área das partículas analisadas

Resultados ImageJ	
Partícula	Area (Pixels)
1	2
2	52
3	38
4	101
5	2
6	47
7	156
8	4
9	1
10	55
...	...

Neste momento é necessária somente a soma destas áreas, para facilitar. Pode-se retirar o resultado diretamente da Tabela 3, “Área total ocupada”, que se refere à somatória de todas as áreas mostradas na Figura 27. Outra opção é utilizar somente a fração da área (*area fraction*), pois se sabemos o tamanho da imagem (640x480pixels), sabemos, então, quanto da área foi ocupada por partículas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas três configurações experimentais, visando determinar a mais adequada para a aplicação do sistema para utilização no campo. Foram considerados os fatores facilidade de montagem, facilidade de reprodução em campo, facilidade de manutenção do equipamento e contraste da poeira em relação ao fundo, além de precisão, robustez e custo.

4.1 Primeira configuração experimental

Esta configuração experimental foi desenvolvida, utilizando-se os mesmos conceitos de um sensor desenvolvido por Rueda, Santos; Rabelo (2006), que utilizavam um fotodiodo como fonte sensora. Porém, no presente estudo, foram utilizados uma câmera CCD e computador para o processamento das informações.

Todavia, foram encontradas algumas dificuldades para a execução dos dois projetos, como:

- necessidade da limpeza do aparato, nesse caso, o vidro, após algum tempo de utilização;
- a possibilidade de um grão de poeira se sobrepor o outro, possibilitando a diminuição da precisão;
- necessidade de sedimentação das partículas, aumentando o tempo de resposta do processo.

Para outros estudos, esta ideia é válida para algumas aplicações, como um laboratório químico, onde há necessidade de quantificar as impurezas suspensas no ambiente.

Toda vez que chegar a uma determinada concentração sedimentada, o próprio aparelho dá um aviso sonoro ou luminoso para os trabalhadores. Na Figura 28 observa-se o contraste das partículas sedimentadas no vidro.

Para a aplicação citada, seria obtido um bom resultado, sem necessidade de intervenção de uma pessoa.

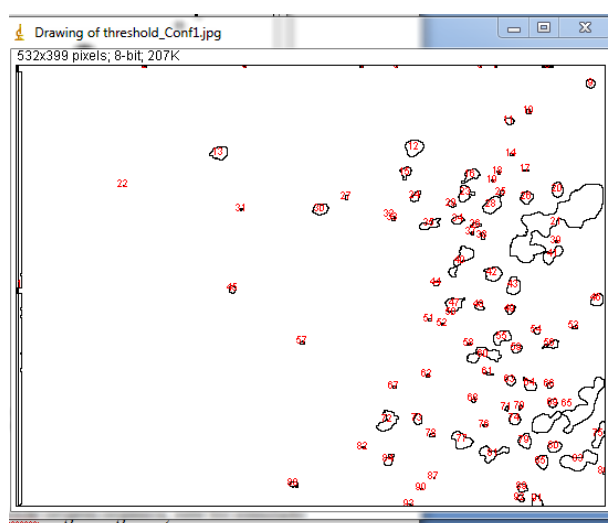


Figura 28 Imagens obtidas a partir da configuração experimental 1

Como proposta para sanar o problema relacionado à limpeza do anteparo, na Figura 29 é mostrada uma mesa giratória, cujo vidro movimenta-se em sentido angular, em intervalos pré-definidos.

Passando uma espécie de borracha (como o do limpador de para-brisa) e, em seguida uma escova, é possível limpar todas as partículas indesejáveis do anteparo.

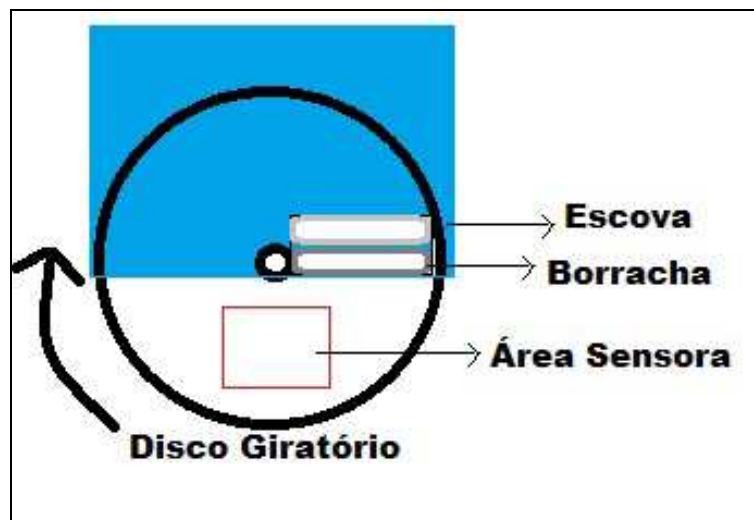


Figura 29 Proposta para futuros trabalhos para sanar os problemas de limpeza do anteparo

A configuração experimental pode ser de grande valia para próximos estudos, porém, ela não foi utilizada para aprofundar os resultados porque suas características não estão contempladas no escopo do projeto.

4.2 Segunda configuração experimental

A segunda configuração experimental tinha algumas semelhanças com o estudo feito por Rufino (2011), porém, em vez de utilizar um fotodiodo como sensor, foi utilizada uma câmera CCD. Além disso, foi instalado um funil para diminuir o vórtice criado pelo ventilador axial e, mesmo assim, as partículas ficavam em um movimento diferente da realidade e a sua velocidade angular era muito alta, comprometendo a captura das imagens, como se pode observar na Figura 30.

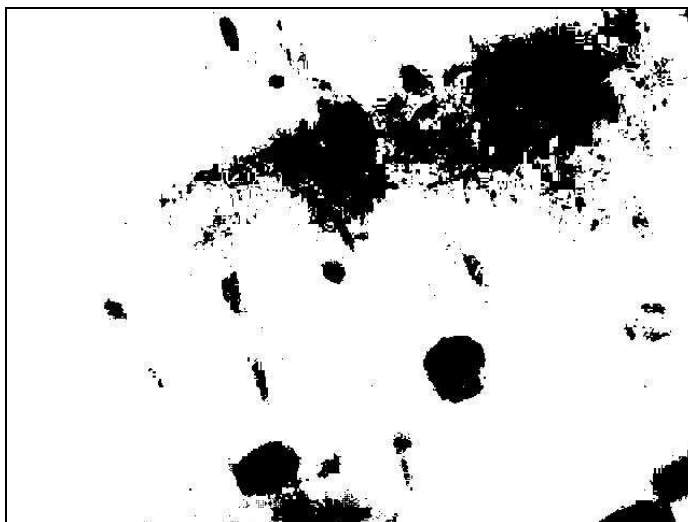


Figura 30 Imagem obtida pela segunda configuração experimental, alto ruído na imagem causado pela alta velocidade dos dispersóides

É possível capturar os dispersóides mesmo com altas velocidades, utilizando uma câmera com maior taxa de captura. Existe uma câmera disponível no laboratório do CEDIA, que tem uma taxa de duzentos quadros por segundo (FPS). Isto representa uma velocidade de obturação de 5 milissegundos, comparado com a câmera deste projeto, que tem 33,33 milissegundos. Contudo, para fins do presente estudo, o custo contempla nosso objetivo, visto que a câmera de 200 FPS custava, em média, R\$5.000,00, no ano de 2013.

Os resultados da segunda configuração experimental não foram suficientes para extrair dados confiáveis, ao ponto que fosse possível aprofundar o estudo. Porém, ele também pode ser utilizado para futuras pesquisas, quando câmeras de alta velocidade forem acessíveis ou o custo não ser objetivo do estudo.

4.3 Terceira configuração experimental

A terceira configuração experimental foi iniciada a partir dos erros e conhecimentos adquiridos nas configurações um e dois, porém, os resultados obtidos foram mais interessantes para quantificar o nível de dispersões no ambiente. Na Figura 31 está representada uma imagem das partículas em movimento, a partir do processamento adequado, sendo possível observar que seus grãos são bem visíveis, sem ruído e de fácil análise, quando comparado com o resultado da segunda configuração experimental.

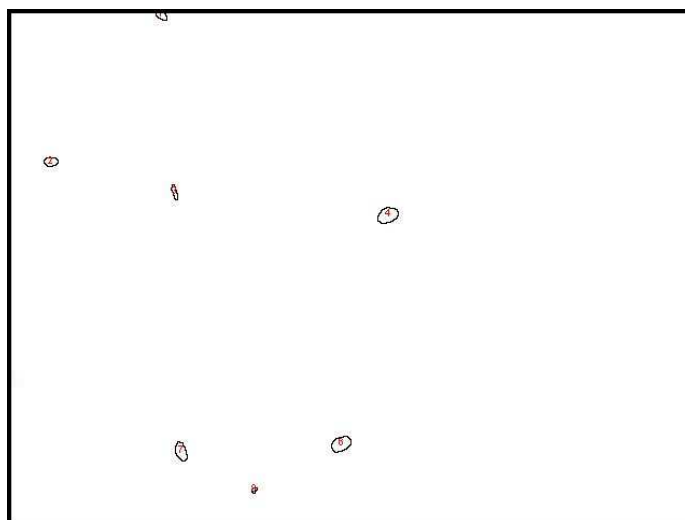


Figura 31 Imagem obtida após o processamento de imagem. Em seguida, utilizou-se uma parametrização para retirar os valores em questão

O banco de dados tinha um número sólido de imagens, cerca de 3.600, e, com este número, foi possível aprofundar o resultado para verificar a confiabilidade do sistema.

Inicialmente, para cada concentração de poeira, utilizou-se uma média entre cinco valores obtidos. Isto se justifica pela grande variabilidade espacial dos grãos de poeira que estão no ambiente, em alguns momentos próximos da câmera e, em outros momentos, longe.

Utilizando-se a média de várias imagens, o desvio padrão diminui e a média do conjunto se aproxima do resultado (Tabela 4).

Tabela 4 Média entre cinco resultados por concentração

g.m ⁻³	1	2,4	3,8	6,2	9,4	12	14	15,2	17	20	31,2	45,4	
Pixels	446	260	3018	7219	7017	10552	10805	8251	2046	13526	14613	18975	1
	2900	7300	10089	6267	6893	10262	9166	11827	9069	13148	11244	11018	2
	1217	1763	1695	2763	4985	6109	7445	10258	16430	11744	12663	19340	3
	602	260	3737	3888	4200	6228	7107	11428	6034	11762	13802	25028	4
	774	2269	2860	3012	2692	5773	7631	15414	10691	13632	15235	21018	5
Média:	1188	2370	4280	4630	5157	7785	8431	11436	8854	12762	13511	19076	

Mesmo com o desvio padrão elevado, o resultado apresentou correlação direta entre os pixels ocupados pelas partículas (pixels pretos) e a concentração que foi representada pelo gráfico representado na Figura 32. A linha de tendência com coeficiente de determinação (R^2), de 0,9385, indica que aproximadamente 93,85% da variação de Y (concentração de poeira) estão relacionados com a variação de X (pixels) e que 6,15% não são explicados por X, ou seja, não dependem das variáveis estudadas (BUSSAB; MORETTIN, 2010).

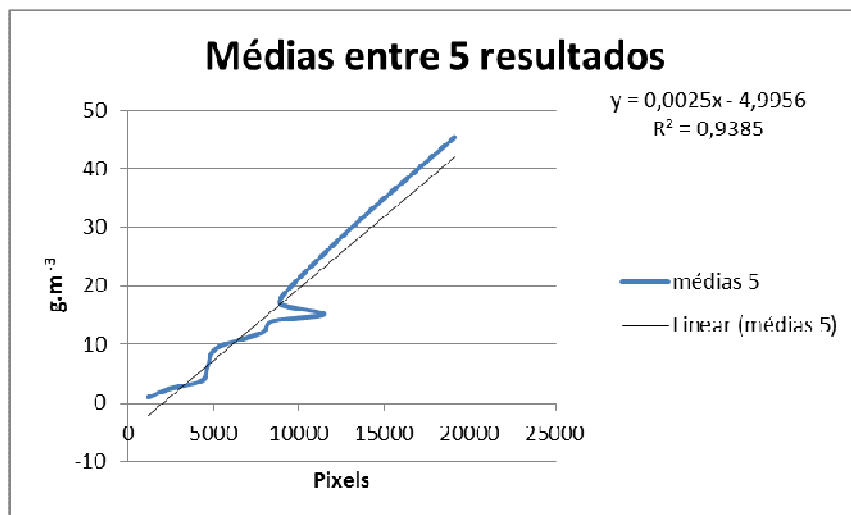


Figura 32 Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre cinco médias por concentração

O modelo apresentado segue regressão linear da equação

$$Y = 0,0025x - 4,9956$$

Equação 3;

$$R^2=0,9385$$

em que

Y: é a concentração de dispersóides que desejamos em $g.m^{-3}$ (dependente de X);

X: é o valor de pixel encontrado no processamento da imagem;

Com estes resultados, foi estudada uma maneira para aumentar a confiabilidade do sistema, envolvendo as mesmas imagens do banco de dados. Porém, em vez de representar uma concentração de partículas com a média entre cinco processamentos, foram realizadas entre 10, 15, 20, 25 e 30 médias,

gerando os resultados presentes nos gráficos das Figuras 33, 34, 35, 36 e 37. Por conseguinte, comparou-se quanto o coeficiente de determinação irá variar em relação ao incremento de processamentos.

Durante o desenvolvimento do projeto, foi utilizado somente processamento das imagens manual, o que fez com que todas as análises demorassem muito pela quantidade de comandos dados no programa ImageJ. Todavia, para trabalhos futuros, tem-se a possibilidade de implementar os métodos adotados em um programa automatizado.

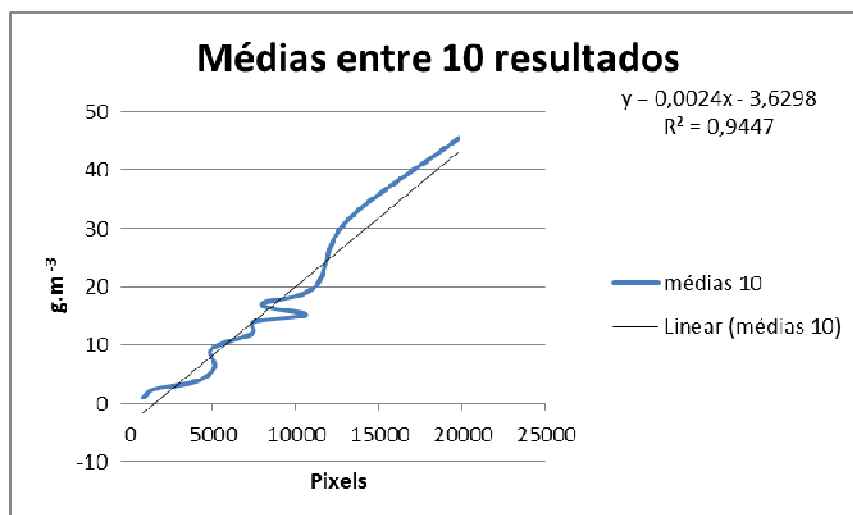


Figura 33 Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre dez médias por concentração

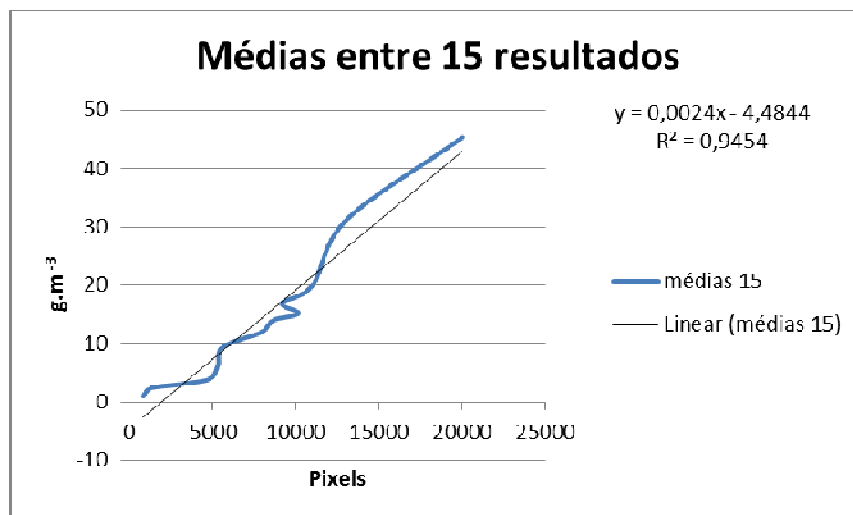


Figura 34 Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre quinze médias por concentração

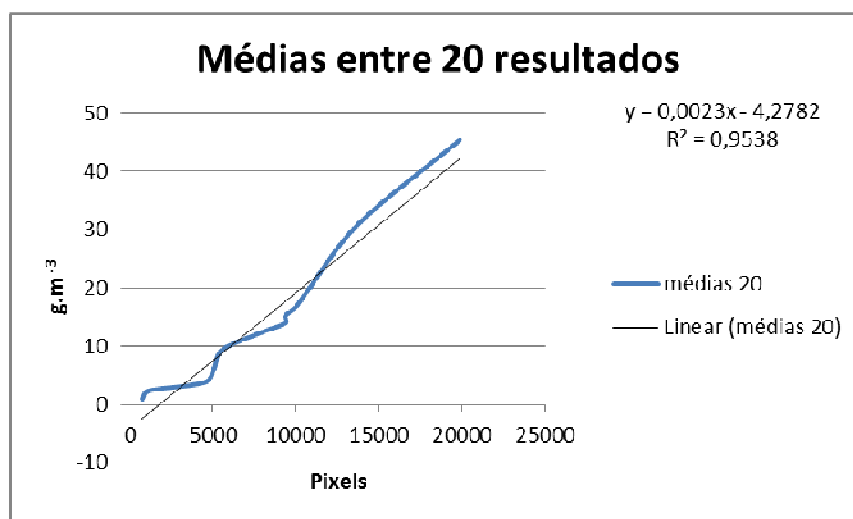


Figura 35 Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre vinte médias por concentração

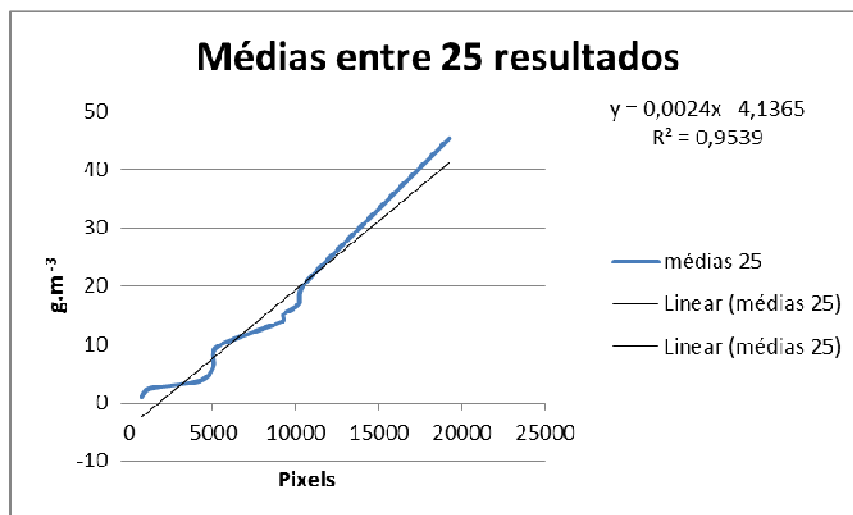


Figura 36 Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre 25 médias por concentração

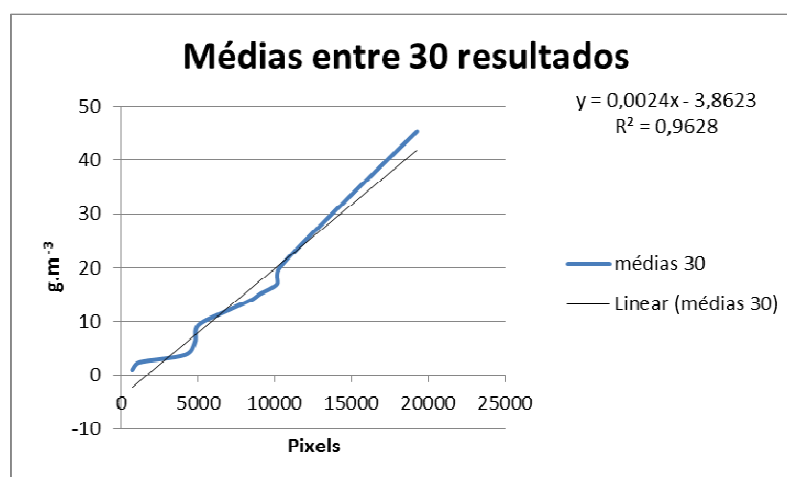


Figura 37 Correlação entre pixel encontrado e concentração de poeira no ambiente estudado. Resultados obtidos sobre trinta médias por concentração

Confrontando-se todos os gráficos e regressões lineares apresentados, observa-se que o processamento que obteve maior coeficiente de determinação foi o último, que utiliza média de 30 resultados por concentração (Figura 37). Sua correlação é de 96,28% sobre a relação de pixels, contendo partículas com a concentração de dispersóides dentro do ambiente controlado.

Para obter este resultado utilizando uma câmera CCD básica, com uma taxa de aquisição de trinta quadros por segundo, será necessário apenas um segundo de captura para obter o resultado acima. Isso indica que, se houver uma variação de concentração de poeira no ambiente, o sistema rapidamente irá representá-la na tela do computador.

Atualmente, pode-se montar uma unidade sensora da terceira configuração experimental retirando-se o computador. Atualmente, toda empresa ou lar possui um com capacidade de processamento similar ao utilizado neste projeto. O custo dos acessórios e componentes é de, aproximadamente, R\$140,00.

Comparando-se os resultados com os de Rufino (2011), que desenvolveu um sistema com as mesmas características utilizando um sistema embarcado com foto sensores e diodo de luz infravermelha, a concentração de dispersóides variou o coeficiente de determinação entre 95,4% e 99,2%, para amido de milho em pó e pó de madeira, respectivamente. Todavia, as faixas de tensão na saída do sensor variaram de 0,066 v a 0,023 v, e estes números estão relacionados a uma variação de concentração de $2,69\text{g.m}^{-3}$. No presente estudo, a faixa de valores encontrados para o pó de café representou 21.018 pixels, o que representa uma variação de concentração de $45,4\text{g.m}^{-3}$, possibilitando obter maior faixa de precisão.

A construção da unidade sensora no trabalho de Rufino (2011) é baseada em um sistema embarcado eletrônico, microcontrolado e com visor. A vantagem

desse projeto é que o próprio equipamento é capaz de verificar a quantidade de poeira. Isso depende de que um operador vá até onde o instrumento está instalado e visualize a concentração, porém, para uma indústria que necessita monitorar vários pontos, como, por exemplo, descarregamento, transporte, secagem e armazenamento de grãos, há a necessidade de instalar vários pontos de monitoramento. Para os métodos utilizados pela Fundacentro, as bombas e os ciclones devem ser instalados no ombro dos operadores e, após a amostragem, os filtros de membrana são levados para pesagem no laboratório.

Outros métodos existentes dependem da verificação manual, seja pesando uma amostra, como é feito no Método Padrão da Fundacentro, ou, até mesmo, a verificação no visor, como é feito no projeto de Rufino (2011). Portanto, a subjetividade do ser humano pode afetar a precisão do equipamento no processamento de imagens. Este problema é eliminado, pois todo o processo é computadorizado.

5 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho possibilitam o monitoramento da concentração de dispersóides em um ambiente de forma:

- Rápida, se o programa for executado de forma automática, pode ser realizado em tempo real ou após um segundo;
- Robusta, equipamentos de fácil substituição e instalação;
- Precisão, coeficiente de determinação de 96,2%, após um segundo de captura;
- Baixo custo, o preço unidade sensora é estimado em R\$140,00.

Para trabalhos futuros, a automatização do programa e a inserção dos sensores CCD em protocolos de rede são desafios para os próximos

pesquisadores, sendo possível que o produto se transforme em um equipamento de uso comercial.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. P. **Processamento de imagens: métodos e análises**. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2000. p. 12.

ALMEIDA, L. L. **Geração de imagens de melhor resolução a partir de seqüências de imagens**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2001.

BAGATIN, E.; JARDIM, J. R.; STIRBULOV, R. Doença pulmonar obstrutiva crônica ocupacional. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 32, p. 35–40, 2006. Suplemento, 1.

BANON, G. J. F. **Formal introduction to digital image processing**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. p. 1–183.
Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/banon/1999/06.21.09.31/doc/book_7.pdf>.
Acesso em: 10 dez. 2012.

BET, A. **Explosões de pós em unidades de recebimento e armazenagem de grãos de cereais na cidade de Chapecó**. Chapecó: Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2010.

BLASCO, J. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. **Biosystems Engineering**, London, v. 85, n. 4, p. 415–423, 2003.

BOTEGA, J. V. L. et al. Avaliação da interferência do laser no material biológico vivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 483–486, 2009.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 - Atividades e operações insalubres** (2011). Disponível em:
<[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15 \(atualizada_2011\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15 (atualizada_2011).pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2012.

BRUCE, R. M.; YOUNG, D. F.; THEODORE, H. O. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. 1. ed. São Paulo: E. Blucher, 2004. p. 584.

BUSSAB, W.; MORETTIN, P. **Estatística básica**. São Paulo: Saraiva, 2010. p. 540.

CANÇADO, J. E. et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 32, p. 5–11, 2006. Suplemento, 1.

COOKE, D. D.; KERKER, M. Response calculations for light-scattering aerosol particle counters. **Applied Optics**, New York, v. 14, n. 3, p. 734, 1975.

COSTA, A. et al. Dust concentration variation in relation to animal activity in a pig barn. **Biosystems Engineering**, London, v. 104, n. 1, p. 118–124, 2009.

COSTA, A.; GUARINO, M. Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 43, n. 8, p. 1548–1556, 2009.

CRUVINEL, P. E. et al. Image processing in automated measurements of raindrop size and distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 23, n. 3, p. 205–217, 1999.

DORGEM. Software. Disponível em: <<http://dorgem.sourceforge.net/> 2012>. Acesso em: 10 dez. 2012.

ECKHOFF, R. K. Understanding dust explosions. The role of powder science and technology. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 22, n. 1, p. 105–116, 2009.

FERREIRA, L. R.; SIQUEIRA, A. L.; CARNEIRO, P. A. S. A silicose e o perfil dos lapidários de pedras semipreciosas. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 7, p. 1517–1526, 2008.

GLASBEY, C. An analysis of histogram-based thresholding algorithms. **CVGIP-Graphical Models and Image Processing**, Duluth, v. 55, n. 6, p. 532–537, 1993. Disponível em: <http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=4C1ocFCfnCl@okGGk4g&page=1&doc=4&colname=WOS>. Acesso em: 10 dez. 2012.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010. p. 509.

IACOCCA, R.; GERMAN, R. A comparison of powder particle size measuring instruments. **International Journal of Powder Metallurgy**, Baltimore, v. 33, n. 8, p. 35-48, 1997.

IMAGE J. **ImageJ user guide**. *IJ 1.46r*. 2003. Disponível em: <from <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

JACOBSEN, G. et al. Increased incidence of respiratory symptoms among female woodworkers exposed to dry wood. **The European Respiratory Journal**: official journal of the European Society for Clinical Respiratory Physiology, v. 33, n. 6, p. 1268-1276, 2009.

KOTOV, I. V. CCD base line subtraction algorithms. **IEEE Transactions on Nuclear Science**, New York, 6270E(4), p. 65S-2204, 2010.

LUKAS, J. Determining digital image origin using sensor imperfections. In: SPIE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE AND VIDEO, 2005. **Communications and Proceeding...** 2005. p. 249-260. Disponível em: <<http://faculty.ksu.edu.sa/ghazy/Setganog/References/ref43.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

MALTSEV, V. P. Scanning flow cytometry for individual particle analysis. **Review of Scientific Instruments**, Rochester, v. 71, n. 1, p. 243-255, 2000.

MARGARIDA, M. et al. Método de determinação da sílica cristalina na poeira dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 21-28, jul./ago.2006.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. p. 330

PARINI, C. J. **Estudo comparativo de métodos de determinação do tamanho de partícula**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003.

PINTO, T. C. N. O.; SILVA, M. C. E. S. P. Riscos à saúde dos trabalhadores nos processos brasileiros de reciclagem de resíduos de construção e demolição. **Medicina**, São Paulo, 2001. p. 1-10. Disponível em: <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/saude-residuos.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

RONGTAI, C. et al. CCD performance model and noise control. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE ANALYSIS AND SIGNAL PROCESSING; INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE ANALYSIS AND SIGNAL, 2011, Wuhan. **Proceeding...** China: IEEE, 2011. p. 389–394.

RUEDA, T.; SANTOS, L.; RABELO, G. Controle automático do nível de poeira baseado em microcontrolador. **INFOCOMP Journal of Computer Science**, v. 5, n. 1, p. 61–65, 2006.

RUFINO, C. A. **Desenvolvimento de um sistema para a detecção de dispersóides no ar**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2011.

SÁ, A. de. Explosões – o perigo dos grãos. **Revista Proteção**, Porto Alegre, 1998. Disponível em: <<http://www.safetyguide.com.br/artigos/explograos.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

SANTOS, A.; AMARAL, N. **Norma de higiene ocupacional: análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros de membrana**. 3. ed. São Paulo: Fundacentro, 2001. p. 34

SOUZA, V.; QUELHAS, O. L. Avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira na indústria da construção. **Ciencia & Saude Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 801-807, 2003.

WONG, E. S. et al. Computer vision system for automated cell pressure probe operation. **Biosystems Engineering**, London, v. 103, n. 2, p. 129–136, 2009.

WU, F. et al. Integrated receiver architectures for board-to-board free-space optical interconnects. **Applied Physics-A**, Berlin, v. 95, p. 1079–1088, 2009.