

DETECÇÃO E RASTREAMENTO DE EMISSÃO DE PARTICULADO EM PROCESSOS SIDERÚRGICOS POR IMAGEM¹

Lucas Ferreira de Melo Diniz²

Alysson Ribeiro das Neves³

Luiz Fernando Etrusco Moreira⁴

Marcelo Borghetti Soares⁵

Bruno Cabral de Oliveira Dutra⁶

Resumo

Este artigo apresenta um sistema de visão desenvolvido com o intuito de identificar e mensurar emissões de particulado em processos da indústria siderúrgica. A motivação para este sistema é permitir monitoramento ambiental do processo de produção de aço, levando em conta as atuais exigências de sustentabilidade do mercado. Utilizando uma câmera posicionada em direção ao alto-forno, o sistema é capaz de mensurar de forma indireta a densidade da fumaça emitida no processo, baseando-se na escala Ringelmann. Ao detectar emissões que ocupam mais de uma determinada porcentagem do campo de visão da câmera, o sistema calcula sua área, registra um alarme e inicia a gravação de vídeo, deixando as ocorrências registradas. Além disso, o sistema gera gráficos históricos que possibilitam o acompanhamento do índice de emissões durante o dia. Uma das grandes dificuldades encontradas está em segmentar a imagem ignorando nuvens e outros elementos externos ao ambiente, como pessoas e caminhões em movimento. Estuda-se ainda a detecção de particulado durante a noite, um desafio devido à falta de luz solar, e a colocação de novas câmeras para inspeção em outros pontos da fábrica.

Palavras-chave: Visão, Particulado, Imagem; Sustentabilidade.

TRACKING AND DETECTION OF PARTICULATE EMISSION IN SIDERURGICAL PROCESSES USING IMAGES

Abstract

This article introduce a vision system used to identify and measure particulate emission in some process inside the metallurgical industry. The system would be used in order to allow the environmental monitoring of the steel production process, taking in consideration the actual sustainability requirements of the market. Using a camera located toward the blast furnace the system is capable of measure by an indirect way the density of the smoke emitted in the process, based in the Ringelmann scale. After detecting the emissions that occupies more than 30% of the field of view (FOV) of the camera, the system calculates its density, trigger an alarm and initiate a video record. The system is also capable of plot graphs that allows the supervision of the emission levels during the day. One of the biggest challenges is dealing with the presence of noises in the environment, such as trucks, clouds and moving objects. It's studied the possibility of detection of particulate during the night and the usage of more cameras to inspect other places in the fabric.

Key words: Vision; Particulate; Image; Sustainability.

¹ *Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI Industrial, 18 a 21 de setembro de 2012, Belo Horizonte, MG.*

² *Engenheiro de Controle e Automação e Gerente de Projetos na Invent Vision, lucas@ivision.ind.br*

³ *MBA em Gerenciamento de Projetos e Gerente de Programas e Projetos na Invent Vision, alysson.neves@ivision.ind.br*

⁴ *Doutor em Engenharia Elétrica e Diretor de Tecnologia da Invent Vision, luizf@ivision.ind.br*

⁵ *Doutor em Ciência da Computação e Gerente de Software da Invent Vision, borghetti@ivision.ind.br*

⁶ *Engenheiro Eletricista e Engenheiro de Aplicações na Invent Vision, bruno.dutra@ivision.ind.br*

1 INTRODUÇÃO

O mercado consumidor atual está cada dia mais criterioso. Não apenas a qualidade do produto é levada em conta no momento da compra; hoje os consumidores observam a matéria-prima utilizada na fabricação, a qualidade de vida dos trabalhadores e principalmente a atitude da empresa com relação ao meio ambiente. Empresas que levam a sério os conceitos de sustentabilidade estão ganhando mercado e contribuindo para o futuro do planeta. De acordo com a Pesquisa Global sobre Responsabilidade Social Corporativa realizada com mais de 28 mil consumidores em 56 países, aproximadamente dois terços deles declararam que preferem produtos e serviços de empresas que possuam programas de retorno social, sendo que desses 66%, quase metade (46%) afirma que pagaria mais por isso. É interessante notar que, nessa pesquisa, os consumidores com maior consciência social são da América Latina, Oriente Médio, África e Ásia.⁽¹⁾

A questão da sustentabilidade atinge assim todos os níveis de uma empresa: do descarte de copos descartáveis utilizados pelos funcionários até o destino dado aos compostos gerados na produção, além, é claro, da saúde e conforto dos trabalhadores envolvidos e daqueles que habitam as vizinhanças das fábricas.

Dessa forma, o incentivo ao aperfeiçoamento dos processos se torna tão importante na atualidade. Em ambientes industriais, onde a produção em larga escala gera diversos tipos de materiais não desejados, o investimento deve ser ainda maior, de forma a reduzir o impacto ambiental e social da produção, favorecendo assim, a criação de um produto e processo realmente sustentável.

1.1 Material Particulado

Na indústria, um dos índices mais importantes a serem observados são os índices de emissão de material particulado na atmosfera. O material particulado, chamado também de ultrafinos, pode ser caracterizado como minúsculas subdivisões de material sólido ou líquido em suspensão na atmosfera. As principais fontes do material particulado são os veículos automotores, queima de biomassa, ressuspensão de poeira e processos industriais. Além disso, o material pode ter sua origem na atmosfera, por meio de gases emitidos em processos de combustão, como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de Nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs).⁽²⁾ A Figura 1 mostra alguns exemplos de material particulado vistos por meio de um microscópio eletrônico. Note que também é possível a existência desse material de origem natural.

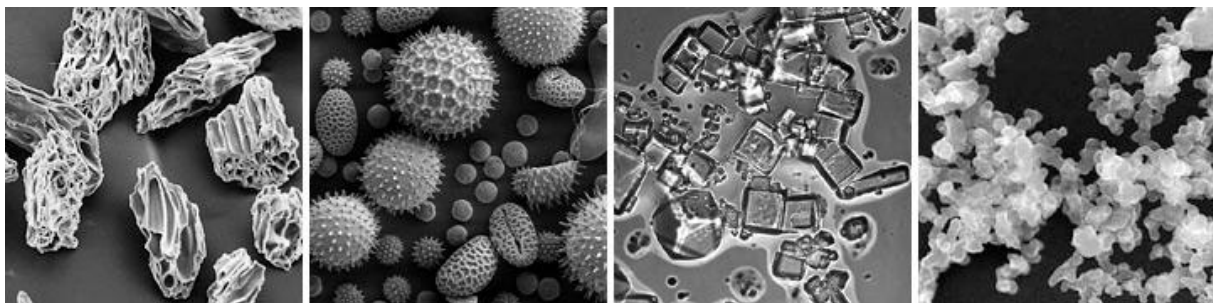


Figura 1: Escaneamento microscópico eletrônico de alguns tipos de PM. Da esquerda para a direita: cinza vulcânica, pólen, sal de cozinha e fuligem.⁽³⁾

O material particulado pode ser classificado em três tipos: Partículas Totais em Suspensão (PTS), que são partículas de dimensão menor que $50\mu\text{m}$, podendo ser

inaladas e afetar a qualidade de vida da comunidade; Partículas Inaláveis (MP₁₀), com diâmetro menor que 10µm e que afetam diretamente a saúde de quem as inala; e finalmente Fumaça (FMC), associada a processos de combustão.⁽²⁾

A inalação do material particulado é bastante prejudicial à saúde, afetando tanto o sistema respiratório quanto o cardiovascular. Estima-se que causam nos Estados Unidos entre 22 a 52 mil mortes por ano e entre os efeitos de sua inalação pode-se citar asma, câncer de pulmão, problemas cardiovasculares e morte prematura. Quanto menor a partícula, maior seu efeito nocivo para a saúde humana.⁽⁴⁾ Por isso a grande importância no controle das emissões de material particulado.

1.2 Detecção e Medida de Material Particulado

De forma a possibilitar um controle do índice de material particulado na atmosfera é necessária a realização da identificação e medição do mesmo. Existem algumas formas de medição desses valores.

Uma maneira mais simples de medir o material MP₁₀ é por meio de um amostrador de grande volume. O dispositivo possui um filtro que possibilita apenas a entrada de partículas com tamanho inferior a 10µm, sendo que, após 24 horas, o conteúdo coletado é pesado a fim de determinar a quantidade de material no ar.⁽⁵⁾

Uma forma mais eficiente e que possibilita a medição tanto de particular PM₁₀ quanto MP_{2,5} e de forma contínua usa um sistema de microbalança com elemento oscilante, equipamento esse também chamado de TEOM (*Tapered element oscillating microbalance*). Amostras de ar são sugadas a uma taxa de 16,7 L/min sendo que 3 L/min da amostra é aquecido para a remoção de água e direcionado para um transdutor de massa, cuja oscilação depende diretamente da quantidade de material particulado da amostra coletada.⁽⁶⁾

Porém, as duas abordagens apresentadas são eficientes apenas no monitoramento da atmosfera como um todo e a curta distância. Uma forma de possibilitar a supervisão desses índices de forma mais localizada e a longas distâncias utiliza a escala Ringelmann, apresentada na Figura 2. Criada em 1888 pelo professor Maximilian Ringelmann, engenheiro agrônomo do *Institute National Agronomique* de Paris, a escala foi inicialmente utilizada no controle da queima de caldeiras a vapor, bastante comuns na época, fazendo uso da cor da fumaça emitida pelas chaminés. Mais tarde, em 1899, foi proposto nos EUA que a escala fosse utilizada como um procedimento padrão para medição de densidade de fumaça nos testes de usinas de geração de energia.⁽⁷⁾

Um equipamento existente no mercado que possibilita o monitoramento dos níveis de emissão localmente é o opacímetro. Esse equipamento é constituído de um emissor e um receptor de luz posicionados no local de emissão de particulado e que avalia o nível da emissão de acordo com a escala Ringelmann.

Atualmente, a escala é utilizada para a avaliação dos limites de emissão de automóveis e em alguns processos industriais. De acordo com o Código de Transito Brasileiro, a tonalidade da fumaça emitida por um veículo não pode ultrapassar o número 2 da escala Ringelmann (o equivalente a 40 % do teor negro).⁽⁸⁾ Por ser um método intuitivo, para a utilização da escala de forma mais confiável, é necessário a criação de um sistema capaz de avaliar a densidade de forma objetiva, possibilitando inclusive o controle de sistemas industriais de forma automática. Assim sendo, este trabalho apresenta um sistema de visão que faz uso da escala para avaliar densidade de particulado, aplicação essa instalada para avaliar as emissões de um *bleeder* de um alto-forno.

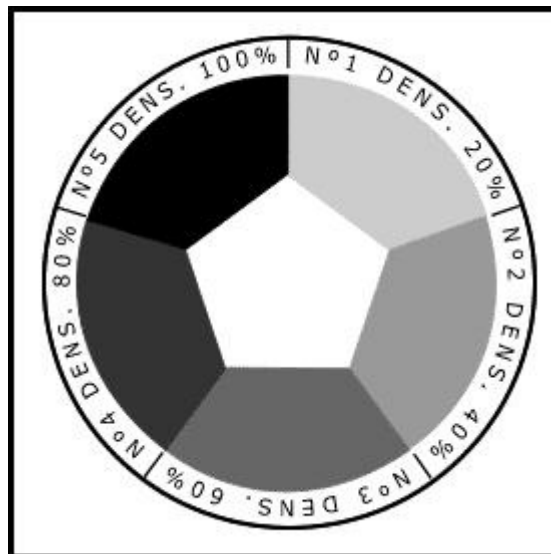


Figura 2: Escala Ringelmann.⁽²⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Composição do Sistema

O sistema de inspeção de particulado desenvolvido conta com uma *SmartCamera* industrial de 3.2 Mpx (Figura 3) protegida por uma câmara pressurizada a Nitrogênio, localizada no topo de uma torre (Figura 4) e posicionada de forma a apontar para o *bleeder* do alto-forno. A função da pressurização é evitar o acúmulo de sujeira, tanto na parte interna do *case* quanto no vidro externo. A lente utilizada para o monitoramento é de 16mm, e considera-se que a distância entre a câmera e o objeto inspecionado (*bleeder*) é de aproximadamente 200m.



Figura 3: SmartCamera utilizada para o registro das emissões.

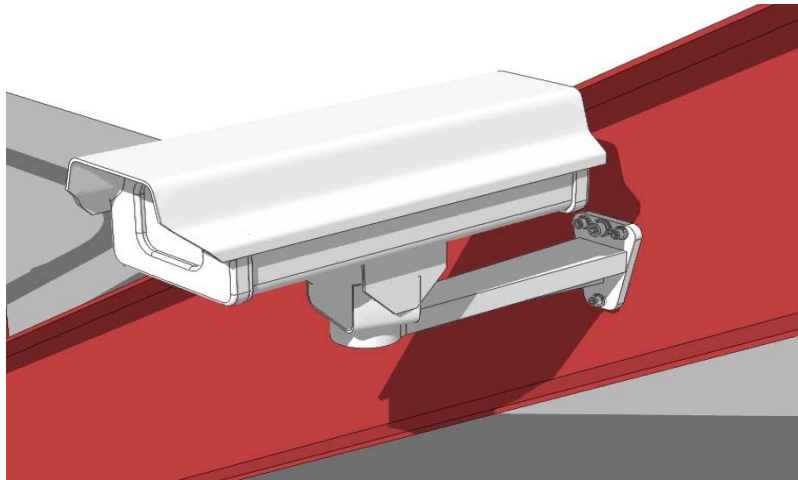


Figura 4: Case pressurizado para proteção da câmera

Pelo fato da câmera estar em ambiente insalubre, com alto índice de CO₂ no ar, o computador utilizado localiza-se na sala de controle, e por isso a conexão entre eles é realizada por meio de fibra ótica.

A Figura 5 apresenta o modelo de como o sistema é estruturado. O mais baixo de todos os níveis é responsável por capturar as imagens (uma ou mais) e tratá-las, fornecendo dados para os sistemas de IHM. Da mesma forma, as informações geradas pelo sistema de monitoramento de particulado alimenta as planilhas dos sistemas de nível 2, como ERPs e SAPs.

2.2 Registro das Emissões

Além de realizar a identificação e medição das emissões, o sistema deve ser capaz de registrar as emissões em vídeo e comunicar os envolvidos da ocorrência da emissão, juntamente com os valores medidos. Para tanto, a aplicação captura continuamente a imagem da região de inspeção e avalia, por meio de visão computacional, a ocorrência de uma emissão. Caso positivo, o sistema inicia a gravação do vídeo e continua o processamento até o fim da emissão, quando a gravação é finalizada um alarme registrado. O fluxo pode ser visto na Figura 6.



Figura 5: Arquitetura do sistema de identificação de particulado.

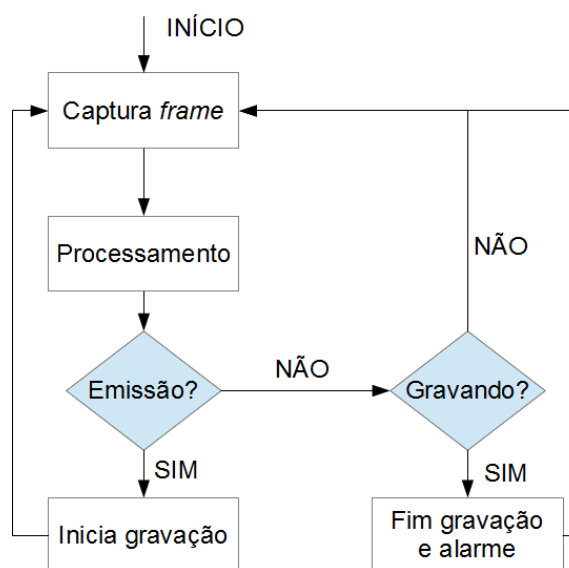


Figura 6: Fluxo do sistema de inspeção.

2.3 Etapa de Processamento

O processamento da imagem é responsável por identificar na cena a existência, localização e área de possíveis emissões. A visão computacional deve simular o comportamento do cérebro humano no que se refere a interpretação da imagem e retornar uma informação útil para os interessados. No caso do sistema desenvolvido, ele deve ser capaz de identificar a presença de uma emissão, sua área e em que nível da escala Ringelmann ela é classificada. Para tanto, o sistema de posse das imagens do processo, realiza diversas etapas até finalmente obter os valores desejados.

Antes de mais nada, a aplicação deve reconhecer uma emissão e diferenciá-la de ruídos externos, como nuvens. Fazendo uso do histórico das imagens, um algoritmo especializado obtém uma imagem ideal na qual somente os elementos fixos à cena estão presentes. A cada iteração, essa imagem, chamada de *background*, é aperfeiçoada, de forma a eliminar ruídos (incluindo nuvens) e fornecer uma base para a detecção das emissões. A Figura 7(a) mostra o *frame* obtido em determinado instante, enquanto a Figura 7(b) apresenta seu *background*. Comparando as imagens é possível observar que a emissão localizada no centro da imagem (a) não se encontra na imagem “padrão” (b).

Após a obtenção da imagem de *background*, calcula-se a diferença entre as duas imagens e remoção de ruídos residuais, ou seja, o resultado será uma imagem onde aparecem apenas os itens importantes do *frame* atual que não estão presentes normalmente na cena. O resultado da subtração das imagens pode ser visto na Figura 7(c), onde é possível também notar a diferença dos tons de cinza da emissão.

De posse da diferença entre as imagens, mede-se a área ocupada pela emissão. Após processar a imagem, áreas pequenas são desconsideradas e o contorno da imagem é traçado, obtendo assim a área, em *pixels*, da emissão (Figura 6(d)). Utilizando os dados de distância câmera/objeto e fator de ampliação da lente, a aplicação obtém uma relação de unidades de área (ua) por *pixels*, utilizada para estimar a área em metros quadrados, por exemplo.

Finalmente, a densidade da fumaça deve ser avaliada. Para isso, mede-se o quão cinza são os *pixels* da Figura 7(c), o que equivale a medir o tanto que a emissão no *frame* atual cobre o fundo da cena original. A correspondência com a escala Ringelmann é feita a partir desse valor, ou seja, se a área cobre totalmente a cena (100%), a emissão é classificada como nível 5. Da mesma forma, por exemplo, outra emissão que ocupa 25% será classificada como nível 2 (Figura 2).

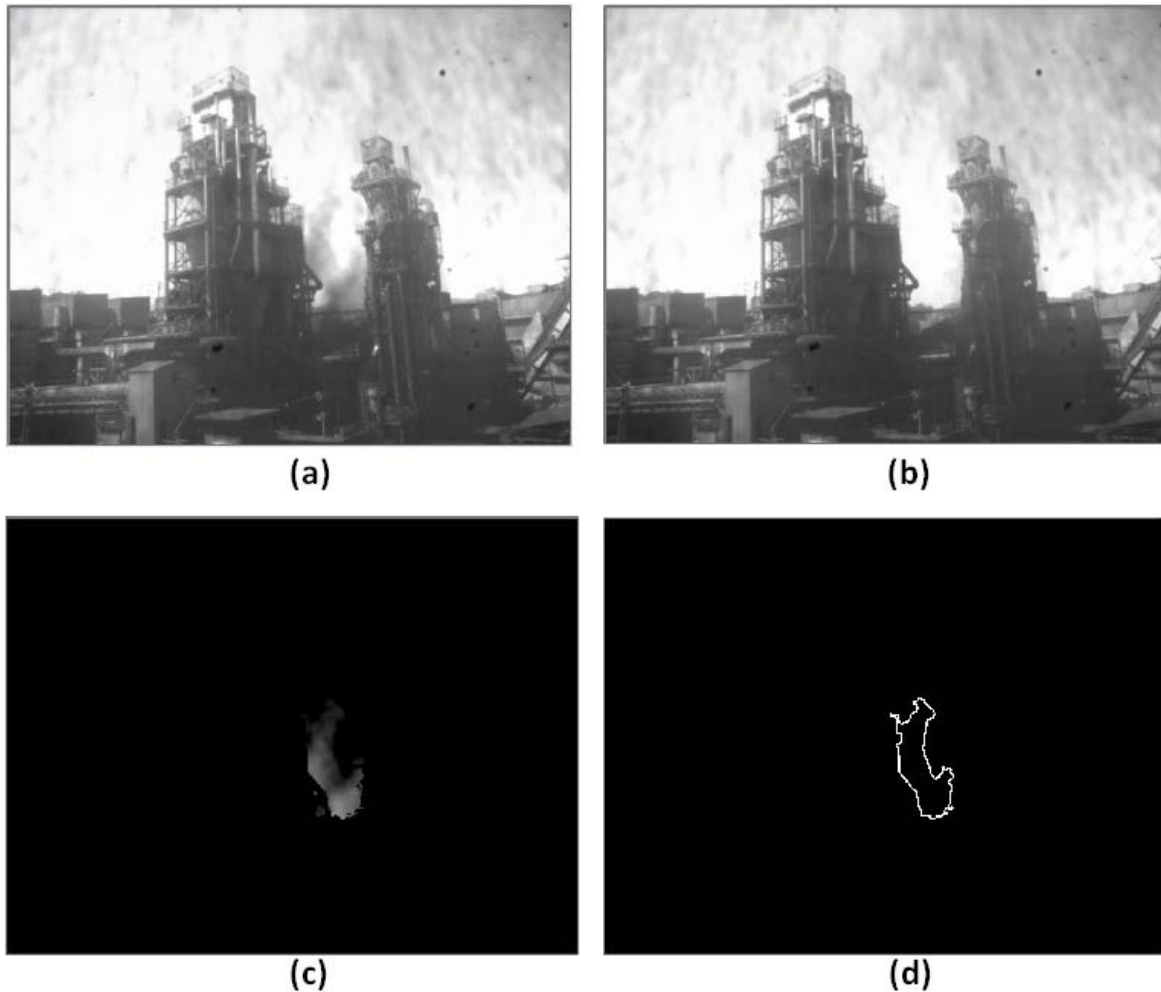


Figura 7: Etapas no processamento das imagens. (a) mostra a imagem atual, (b) a imagem background, (c) a diferença entra as imagens e finalmente (d) a área da emissão.

3 RESULTADOS

Dentre os resultados obtidos pelo sistema, é possível citar a comprovação da efetividade de utilização da escala Ringelmann em sistemas de visão nesta aplicação, que permitiu ao sistema detectar corretamente a ocorrência de eventos de emissão de particulados. Outro tópico a ressaltar neste sentido é a realização de estimativa da área de emissão, tendo como base uma calibração utilizando elementos da própria cena, com dimensões conhecidas. Tal estimativa possibilita realizar uma combinação entre faixas de valores de área com os valores obtidos pela utilização da escala de Ringelmann, gerando uma escala de classificação de emissão com três níveis; leve, médio e grave. A título de exemplo, com este critério multivariável, podem ser classificados como grave uma emissão com pequena área e tonalidade 5 da escala Ringelmann (o equivalente a 100 % do teor negro) e também uma emissão com enorme área e tonalidade 1 da escala Ringelmann (o equivalente a 20 % do teor negro).

Por fim, no intuito de propiciar subsídios para ferramentas de análise, a data e hora dos eventos de emissão, bem como seus respectivos valores de área e tonalidade, são catalogados em séries temporais, que são exibidas em uma tela sinótica.

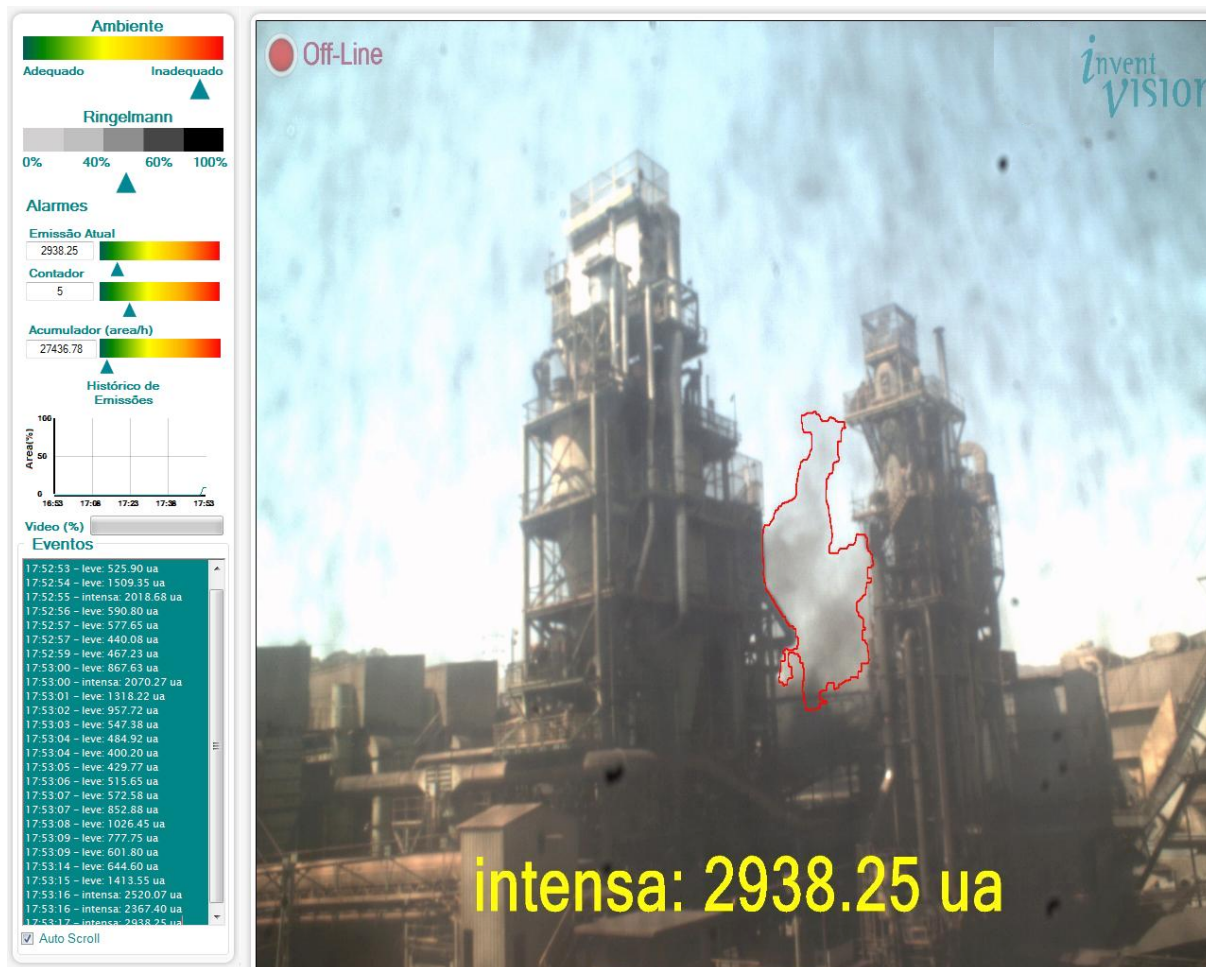


Figura 8: Tela do sistema de medição de densidade de particulado.

4 DISCUSSÃO

Em comparação aos outros métodos de medição de particulado, como o opacímetro e o TOEM, ambos apresentados no início do texto, o sistema desenvolvido possui maior escalabilidade e robustez, já que realiza a medição sem interferir no processo e possibilita que a mesma câmera identifique emissões em locais diferentes e em longas distâncias. O fato de necessitar de luz solar para funcionar é um fator limitante para a utilização do sistema, porém estuda-se a adaptação do sistema para seu funcionamento no período noturno, fazendo uso de imagens capturadas na região do infra vermelho.

Com relação à manutenção, a aplicação desenvolvida necessita apenas de manutenção periódica preventiva, não havendo necessidade de troca de filtro ou mesmo limpeza do equipamento, já que possui um eficiente sistema que evita o acúmulo de sujeira em frente da lente.

O mesmo sistema também é capaz de distinguir e mensurar emissões de diferentes fontes, desde que ambas estejam presentes na imagem. Assim, é possível acompanhar a situação da emissão de particulado de processos distintos.

Ao contrário dos outros sistemas de medição, a integração com sistemas MES e ERP é realizada de maneira simples, uma vez que a ferramenta possibilita a troca de dados por meio do protocolo OPC, além de disponibilizar acesso aos vídeos através do servidor web.

5 CONCLUSÃO

Dessa forma, pode-se concluir que o sistema atende às atuais necessidades do mercado no que se refere à medição e supervisão das emissões de material particulado na atmosfera. O mais importante a se acrescentar é a escalabilidade do sistema, que pode ser utilizado em grandes indústrias siderúrgicas até em pequenas usinas termoelétricas. O sistema permite uma integração com outras áreas da fábrica, além de possibilitar um registro histórico controlado das emissões de cada processo.

O crescimento da preocupação socioambiental dos consumidores somente contribuiu para o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas justamente para um maior controle dos danos ambientais, garantindo assim melhor qualidade de vida para os moradores das regiões industriais e reduzindo os prejuízos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- 1 CONSUMIDOR está disposto a pagar mais por produto de empresa sustentável, revela pesquisa, **Folha.com**, São Paulo, 10 maio 2012. Disponível em: <<http://folha.com/no1087837>>. Acesso em: 10 maio 2012.
- 2 QUALIDADE do Ar - Poluentes, **CETESB** – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes#mp>>. Acesso em 10 maio 2012.
- 3 VOILAND, A.; SIMMON, R., Aerosols: Tiny Particles, Big Impact, Nasa Earth Observatory. 2 nov. de 2010. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/>>. Acesso em: 10 maio 2012.
- 4 MOKDAD, A. H., Actual Causes of Death in the United States, 2000. In American Medical Association, 10 mar. 2004, Vol 291 no 10..
- 5 DOURADO, H. Métodos de Medição e Monitoramento de Contaminantes Atmosféricos. Universidade Federal do Espírito Santo. 10 maio 2005. Disponível em: <www.inf.ufes.br/~neyval/Monitoramento_Qualidade_Ar/Met_de_Medicao_e_Monitoramento.ppt>. Acesso em 10 maio 2012.
- 6 TAPERED element oscillating microbalance (TEOM), Queensland Government – Environment and resource Management, Queensland – Australia, 14 fev. 2011. Disponível em: <<http://www.derm.qld.gov.au/air/pollution/pollutants/particles/teom.html>>. Acesso em 10 maio 2012.
- 7 U.S. Bureau of Mines Ringelmann smoke chart, U.S. Department of Interior. Washington, May 1967. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/ic8333.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2012.
- 8 DENATRAN Código de Transito Brasileiro e legislação complementar em vigor. 1ª edição, Brasília, Dezembro 2008, p. 142. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/CTB_E_LEGISLACAO_COMPLEMENTAR.pdf>. Acesso em: 10 maio 2012