

## **SENSORIAMENTO REMOTO INTELIGENTE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EM CHAMINÉS DE USINAS TERMOELÉTRICAS**

Joseana Macêdo Fechine Régis de Araújo (1); Yoge Jerônimo Ramos da Costa (2); Elmar Melcher (3); Adriano Araújo Santos (4); Natália Porfírio Albuquerque (5)

*Universidade Federal de Campina Grande, joseana@computacao.ufcg.edu.br (1), yoge.jeronimo@ufcg.edu.br (2), elmar@computacao.ufcg.edu.br (3), adriano@copin.ufcg.edu.br (4), Borborema Energética S.A., natalia.albuquerque@borboremaenergetica.com.br (5)*

**Resumo:** O controle austero de emissões atmosféricas é crucial ao se trabalhar com combustíveis fósseis. Dentro deste contexto, o principal objetivo da pesquisa ora apresentada é o desenvolvimento de um sistema para sensoriamento remoto, via sensores embarcados e técnicas de inteligência artificial, para monitoramento, em tempo real, de emissões atmosféricas em chaminés de usinas termoelétricas. O sistema consiste em um passo importante no sentido de conceber também uma metodologia para desenvolvimento de um modelo inteligente preditivo de dados provenientes de emissões atmosféricas de chaminés de usinas termoelétricas, a partir de base de dados históricos. Tem-se, portanto, um sistema computacional com vistas à produção de diagnósticos e prognósticos de emissões atmosféricas em chaminés que auxiliem a tomada de decisão, em curtos intervalos de tempo, sendo de extrema relevância em se tratando do monitoramento de emissões atmosféricas. Assim, além de sinalizar uma eventual situação não esperada, uma usina termoelétrica pode antecipar a tomada de medidas preventivas ou corretivas visando assegurar o controle de operação ambiental segura.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Sistemas Embarcados, Inteligência Artificial, Emissões Atmosféricas, Usina Termoelétrica.

### **1. INTRODUÇÃO**

O monitoramento de emissões atmosféricas em fontes fixas objetiva o controle e recuperação da qualidade do ar, conforme requisitos legais estabelecidos pelo órgãos de controle ambiental (CONAMA, 2011; SEMA, 2014). A busca por estratégias eficientes para o monitoramento das emissões se torna, portanto, relevante para empresas e instituições que atuam na geração de energia elétrica, que produzem emissões atmosféricas, a exemplo das termoelétricas, as quais transformam energia térmica em energia mecânica na obtenção da energia elétrica (SARKAR, 2015). Na atividade de geração termoelétrica, são emitidas substâncias químicas geradas pela queima dos combustíveis utilizados em seus respectivos ciclos de funcionamento. Para tanto, devem ser observados os limites de emissões de poluentes atmosféricos garantindo a proteção da saúde e o bem estar da população (MASSETTI et al., 2017; WANG et al., 2018).

A pesquisa ora descrita está inserida nesse contexto, a saber: monitoramento inteligente de emissões atmosféricas em usinas termoeletricas, cujo principal objetivo é o desenvolvimento de um sistema para sensoriamento remoto, via sensores embarcados (hardware) e técnicas de inteligência artificial (software), para monitoramento contínuo, em tempo real, de conformidade de emissões atmosféricas (C.E.M. - *Continuous Emission Monitoring*) em chaminés de usinas termoeletricas (BELADIA, 2015).

As demais seções deste artigo são organizadas conforme descrição a seguir. Na seção Metodologia é apresentada a abordagem metodológica utilizada para o desenvolvimento da pesquisa seguida da seção Resultados, na qual é descrita a modelagem aplicada para desenvolvimento da solução, com apresentação e discussão dos resultados. Por fim, são apresentadas, na seção Conclusões, considerações acerca da pesquisa, seguida dos agradecimentos aos colaboradores e das principais referências bibliográficas consultadas.

## 2. METODOLOGIA

Em linhas gerais, a pesquisa tem o foco em duas premissas complementares: a) investigar concomitante os elementos que consubstanciam a ponte científica entre os setores de Energia-Química na instrumentação computacional e eletrônica de automação de sistemas; e b) desenvolver um sistema a partir da execução de um roteiro planejado. Para tanto, as seguintes atividades guiam o processo:

- i) fundamentação teórica e realização do sensoriamento ambiental e
- ii) desenvolvimento de um sistema integrado que possibilita o monitoramento remoto contínuo, em tempo real, das emissões atmosféricas em todas as chaminés de uma usina termoeletrica.

O levantamento bibliográfico, que caracterizou a atividade inicial, refinada ao longo do processo, proporcionou o aprofundamento e a aquisição dos conceitos necessários à modelagem do sistema, a destacar, geração de energia em usinas termoeletricas, análise das emissões atmosféricas resultantes do processo, captura, processamento e transmissão de dados provenientes de sensores relacionados às emissões atmosféricas de interesse, redes de computadores, segurança de dados, inteligência computacional e engenharia de software (ALBUQUERQUE FILHO, 2012; HAGA, 2011; IEMA, 2012; RUSSELL & NORVIG, 2010; TANENBAUM & WETHERALL, 2013).

O desenvolvimento do sistema adotou como premissa básica o fato de que o principal objetivo é o monitoramento contínuo de emissões atmosféricas (CEMS - *Continuous Emission Monitoring System*) em todas as chaminés de uma usina termoeétrica (UTE), conforme ilustrado na Figura 1.

Para concretização do sistema, as emissões atmosféricas de interesse (Oxigênio - O<sub>2</sub>, Monóxido de Carbono - CO, Dióxido de Carbono - CO<sub>2</sub>, Óxidos de Nitrogênio - NO<sub>x</sub>, Óxidos de Enxofre - SO<sub>x</sub>, Hidrocarbonetos Totais - HCT e Material Particulado - MP) são capturadas diretamente do topo das chaminés e transmitidas (de forma contínua e em tempo real), remotamente para processamento e apresentação a partir de um subsistema instalado na usina termoeétrica.

Figura 1 – Visão geral do sistema de monitoramento contínuo de emissões atmosféricas.



Fonte: autoria própria.

Para alcançar os objetivos propostos, o sistema é dividido em camadas (subsistemas) responsáveis pelas seguintes ações (Figura 2):

- (i) aquisição dos dados (emissões atmosféricas, via sensores);
- (ii) pré-processamento das informações coletadas e posterior transmissão dessas;
- (iii) aplicação de técnicas de inteligência computacional para geração de diagnósticos, e prognósticos, provenientes das emissões transmitidas, tomadas de decisão e
- (iv) apresentação das informações a partir de um subsistema web.

Figura 2 – Visão geral das camadas do sistema de monitoramento contínuo de emissões atmosféricas.



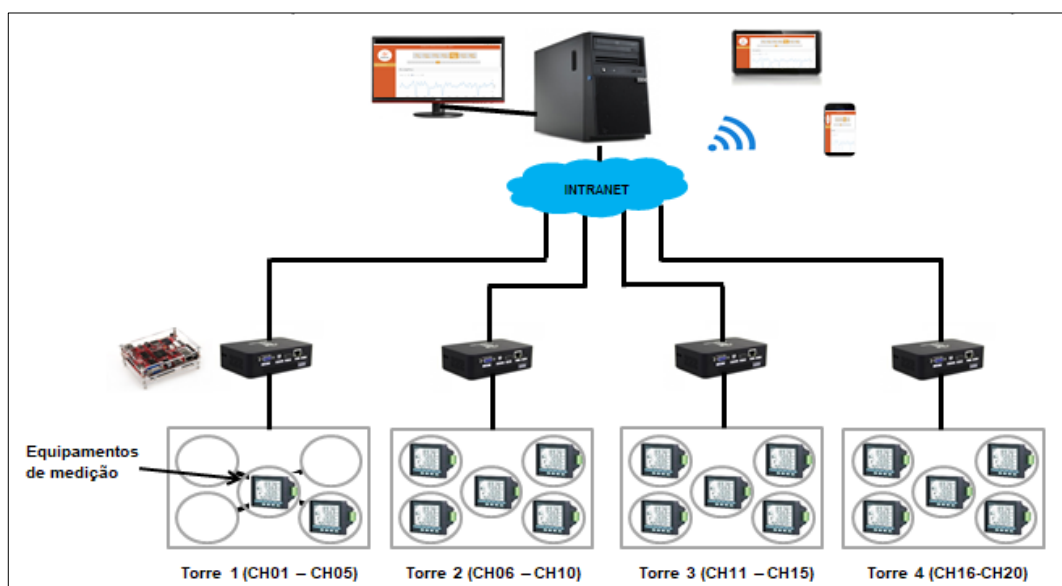
Fonte: autoria própria.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de monitoramento remoto e contínuo das emissões atmosféricas é composto de sensores, responsáveis pela aquisição de emissões atmosféricas, instalados no topo das chaminés da usina (de forma contínua e em tempo real). As informações oriundas da aquisição de dados, pelos sensores, são armazenadas e pré-processadas em dispositivos instalados na base das torres onde ficam as chaminés. Em seguida, essas informações são enviadas remotamente a um microcomputador (servidor), no qual está implementado o monitoramento do sistema (Figura 3).

Conforme Figura 3, a medição e a captura ocorrem a partir dos sensores instalados em cada chaminé (CH1 à CH20, uma para cada unidade geradora) no topo de cada torre (Torre 1 à Torre 4). O pré-processamento e a transmissão são levados a efeito a partir de dispositivos de dimensão reduzida instalados na base de cada torre (*cubietrucks*). Após o pré-processamento, as informações são enviadas (via intranet) para um computador (servidor), no qual é realizado o processamento, armazenamento e apresentação das informações coletadas, de forma contínua e em tempo real.

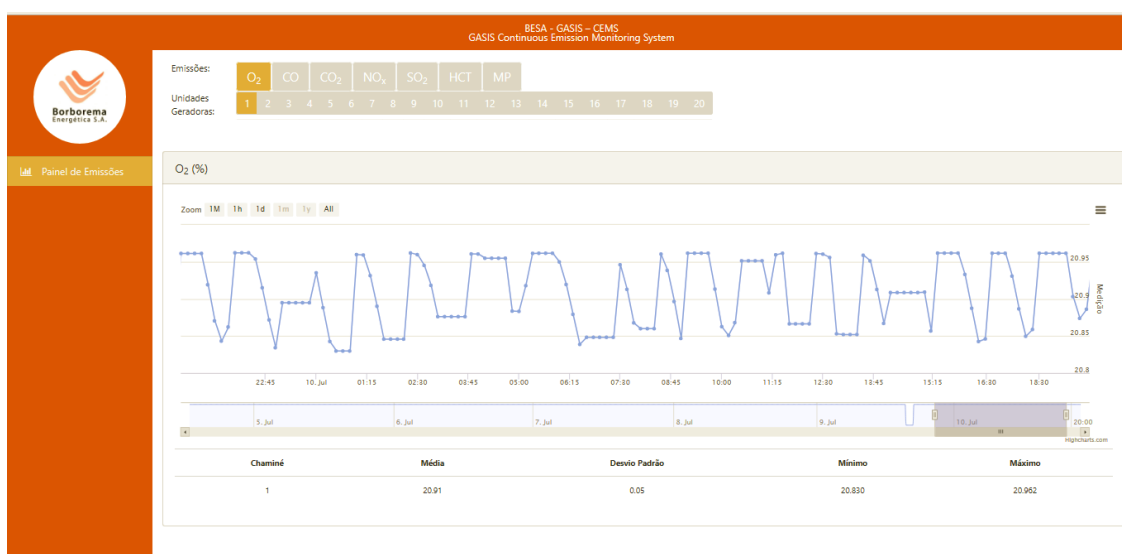
Figura 3 – Sistema de monitoramento contínuo de emissões atmosféricas, com destaque para suas camadas (medição e captura, pré-processamento e transmissão, processamento, armazenamento e apresentação da informação).



Fonte: autoria própria.

A partir da tela gerada pelo subsistema de apresentação das informações (Figura 4), é possível visualizar o monitoramento contínuo e em tempo real, para todas as chaminés, a destacar: as emissões atmosféricas monitoradas ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ , HCT e MP), para cada chaminé e medidas estatísticas que resumem os resultados apresentados.

Figura 4 – Tela gerada pelo subsistema de apresentação da informação do sistema de monitoramento contínuo de emissões atmosféricas.



Fonte: autoria própria.

Os resultados apresentados ilustram, em linhas gerais, o estado da pesquisa. Avanços estão sendo realizados com vistas à conclusão do sistema, a ressaltar: construção de uma base de dados históricos representativa, que possibilite a geração de diagnósticos e prognósticos relacionados às emissões atmosféricas.

#### **4. CONCLUSÕES**

O sistema inteligente de sensoriamento remoto, produto principal da pesquisa, utiliza sensores e sistemas embarcados, de forma a possibilitar o monitoramento contínuo, em tempo real, de conformidade de emissões atmosféricas em chaminés de usinas termoelétricas.

A tecnologia utilizada proporciona a geração de diagnósticos e prognósticos, a partir do uso de técnicas de inteligência artificial, possibilitando a análise evolutiva da correlação entre os diferentes parâmetros monitorados e a tomada de decisão, em curtos intervalos de tempo, sendo de extrema relevância em se tratando do monitoramento de emissões, proporcionando a tomada de medidas preventivas ou corretivas, minimizando custos e reduzindo riscos.

De posse dos dados coletados experimentalmente em diversas fontes de emissão semelhantes, torna-se possível também correlacionar parâmetros operacionais (ex.: tipo de combustível, volume de produção, etc.) com dados de emissão, viabilizando também otimizar a programação de manutenção dos equipamentos de geração de energia (IEMA, 2016).

A utilização do sistema beneficiará o tomador de decisão gerencial, bem como apoiará o planejamento da empresa, possibilitando: (i) o controle, em tempo real, das emissões atmosféricas no processo produtivo (fabricação de energia) sobre o meio ambiente; (ii) a colaboração com a proteção dos recursos naturais e ambientais enquanto monitora as emissões atmosféricas (na geração de energia); (iii) a atuação com vistas a tratar da economia Verde, Responsabilidade Ambiental e do Direito Internacional e (iv) o fortalecimento da integração entre universidade e o setor produtivo da sociedade, a saber, a UFCG e as empresas envolvidas.



## 5. AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento da pesquisa conta com o financiamento e contribuições de membros das empresas BORBOREMA ENERGÉTICA S.A. e MARACANAÚ GERADORA DE ENERGIA S. A., da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba e da Universidade Federal de Campina Grande. A pesquisa está inserida no projeto de pesquisa e desenvolvimento GASIS (*GASes Intelligent Sensing*) Fase 3, código ANEEL PD-6471-0003/2017, em fase de execução, sob os auspícios do Fundo Setorial de Energia Elétrica (ANEEL, 2018). O agradecimento às contribuições e ao tempo dos colaboradores dessas instituições é registrado neste artigo.

## 6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, F. S. de, **Sistemas Inteligentes Aplicados à Análise de Riscos Ambientais**, Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, 2012.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Último acesso em 20 de julho de 2018.

BELADIA. **Relatório Técnico Final do Projeto GASIS**. Universidade Federal de Campina Grande, UTE BORBOREMA ENERGÉTICA S.A., MARACANAÚ Geradora de Energia S.A., Setembro, 2015.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução N° 436, de 22 de Dezembro de 2011**. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Último acesso em 20 de julho de 2018.

HAGA, N., **Combustion engine power plants, white paper, Marketing & Business Development Power Plants**, WÄRTSILÄ, 2011.

IEMA. **Geração Termoeletrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle. Instituto de Energia e Meio Ambiente**. 2016. Disponível em <<http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2016/11/IEMAEMISSOES.pdf>>. Último acesso em 20 de julho de 2018.

MASSETTI, E. et al. **Environmental Quality and the U.S. Power Sector: Air Quality, Water Quality, Land Use and Environmental Justice**. 2017. Disponível em <<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Environment%20Baseline%20Vol.%202--Environmental%20Quality%20and%20the%20U.S.%20Power%20Sector--Air%20Quality%2C%20Water%20Quality%2C%20Land%20Use%2C%20and%20Environmental%20Justice.pdf>>. Último acesso em 20 de julho de 2018.

RUSSELL, S., NORVIG, P., **Artificial Intelligence – A Modern Approach**, Prentice-Hall, 3ª Edição, 2010.

SARKAR, D., **Thermal Power Plant**. 1ª Edição, Elsevier, 2015.

SEMA. **Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Resolução N° 016, de 15 de Abril de 2014**. Estado do Paraná. Disponível em <<http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=117128&codItemAto=781629>>. Último acesso em 20 de julho de 2018.

TANENBAUM, A. S., WETHERALL, D. J., **Computer Networks**, 5ª Edição, Pearson, 2013.

WANG, L. et al. **Predicted impact of thermal power generation emission control measures in the Beijing-Tianjin-Hebei region on air pollution over Beijing, China**. A Caltech Library Service. 2018. Disponível em <<https://authors.library.caltech.edu/84382/1/s41598-018-19481-0.pdf>>. Último acesso em 20 de julho de 2018.