

# Impact of Winds on the Pollutant Deposition in Insulators of Electric Power Transmission Systems

B. L. Tavares, I. N. Silva, R. A. Flauzino, S. M. A. Lopes, D. H. Spatti, V. H. Yoshizumi, W. H. Moreira, A. C. C. Barquete

**Abstract--** The adhesion of particles to the surface of insulators is affected by several factors, such as relative humidity, wind speed and electric field strength. The focus of this work is to evaluate in an integrated way how the influence of winds and other meteorological data impact the accumulation of pollutants in insulators of electrical energy transmission systems. The originality of the developed method lies precisely in presenting a consistent model, based on machine learning, which evaluates in an integrated and fully georeferenced way how the concentration of pollutant deposits increases with wind speed, also taking into account the dependence in relation to the geometric shape of the insulator disk, as well as the other meteorological attributes. Based on the model developed, thousands of simulations were performed taking into account the characteristics of a real transmission line located in the ARGO Energy concession area. For each insulator (2248 in all) 86904 simulations were performed. Each simulation is equivalent to the contribution of 1 hour of environmental conditions on the deposition of dirt in the feeders. Thus, there is an overview of the deposition of dirt on the insulators for a horizon of 10 years with a resolution of 1 hour. Then, the responses provided by the proposed system were compared with the available history of the ARGO system's concession areas, which were also stratified by line. The information for each attribute is counted against the length of the line. In addition, a set of insulators was removed from the LT 500 kV Bacabeira – Parnaíba III (ARGO), in order to carry out physical-chemical tests to verify the adherence of the results provided by the developed methodology.

**Index Terms—** Transmission insulator, pollutant deposition, meteorological factors, contamination particles, partial discharges.

## I. INTRODUCTION

A superfície terrestre, em contato com as massas de ar que se movimentam, provoca um efeito retardador sobre as camadas inferiores do escoamento atmosférico, gerando-se uma variação vertical de velocidades do vento. A partir da altura onde o efeito do solo é desprezível, a velocidade média do vento permanece invariante, denominadas altura e velocidade gradiente. A altura gradiente varia, conforme

diferentes autores, desde 300 até mais de 2000 m sobre o nível do solo. A região do ar compreendida entre a superfície terrestre e a altura gradiente denomina-se camada limite atmosférica.

Até uma velocidade de 300 km/h (83,3 m/s), o vento pode ser considerado como um fluido incompressível. Considerando que as rajadas máximas observadas no Brasil são consideravelmente menores que este valor, as formulações de fluidodinâmica serão apresentadas para fluidos incompressíveis [1].

A quantidade de poluentes em uma determinada região é influenciada pela intensidade das fontes (taxas de emissão) e as condições atmosféricas, estas por sua vez dependem de variáveis meteorológicas como a velocidade e direção dos ventos, temperatura e umidade, inversões térmicas e estabilidade atmosférica [2].

Assim, os ambientes a que estes dispositivos estão então submetidos, muitas vezes contaminados por poluição de diversos tipos, acabam por acelerar o processo de envelhecimento, ou ainda, favorecer o aparecimento de falhas, especialmente descargas parciais [3,4].

Quanto maior a velocidade ou a convecção térmica, maior é a intensidade de mistura vertical e a diluição dos poluentes, mas a presença de determinadas variações na topografia do relevo e direções específicas do vento podem dificultar esta mistura. Montanhas, árvores ou prédios, podem ocasionar variações nos padrões de ventos, dificultando a dispersão de poluentes [5].

Tradicionalmente, dois enfoques matemáticos têm sido utilizados para descrever a dinâmica do ar. O primeiro, com uma abordagem empírica/estatística, trata de representar o comportamento do sistema utilizando a teoria de probabilidade e distribuições estatísticas. Já o segundo, em termos determinísticos, utiliza leis físicas e considerações simplificadas para construir um modelo dinâmico baseado em equações diferenciais parciais [6].

A partir da modelagem pela fluidodinâmica computacional (*Computational Fluid Dynamics – CFD*) é possível realizar a simulação numérica dos processos físicos e/ou físico-químicos que representam o escoamento. A partir da solução das equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento no domínio (dividido em elementos) e no tempo, são então estimados os campos de concentração, velocidade, pressão, temperatura e as propriedades turbulentas.

---

I. N. Silva, R. A. Flauzino, S. M. A. Lopes, D. H. Spatti e V. H. Yoshizumi – Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 13566-590, Brasil. (e-mail: insilva@usp.br, raflauzino@usp.br, sofia.moreira.lopes@usp.br, spatti@icmc.usp.br, yoshizumi@usp.br).

B. L. Tavares, W. H. Moreira e A. C. C. Barquete – ARGO Energia, São Paulo, SP, 04533-013, Brasil (e-mail: beatriz.tavares@argoenergia.com.br, wallace.honorato@argoenergia.com.br, ana.barquete@argoenergia.com.br).

Tais simulações numéricas distinguem-se pela capacidade de lidar com diversas condições de contorno e incluir geometrias complexas. Usualmente incluem modelos avançados do tratamento da turbulência, tornando-os apropriados para as aplicações de dispersão. Na modelagem de CFD destacam-se três etapas básicas. A primeira é o pré-processamento, em que se faz a divisão do domínio computacional em pequenos elementos de volume, processo conhecido como geração de malha, para depois especificar os parâmetros de entrada. Em seguida, definem-se os fenômenos físicos e químicos a serem estudados, as propriedades das fases (líquido, sólido ou gás) e, finalmente, as condições de contorno.

Já a solução numérica é feita por meio de um “solver”, que inicialmente realiza uma aproximação numérica das variáveis do escoamento desconhecidas e, com a discretização das equações governantes do fluido, resolve um sistema de equações algébricas.

## II. LEIS DE CONSERVAÇÃO

Partindo das equações de Navier-Stokes [7,8] e utilizando-se então o conceito de média de Reynolds, em que uma variável em qualquer instante pode ser dividida em uma componente do valor médio  $\bar{u}_i$  e a sua flutuação  $u'_i$ , sendo  $u_i = \bar{u}_i + u'_i$  e aplicando a média temporal, são obtidas as chamadas equações de médias de Reynolds (RANS). A seguir, apresenta-se a respectiva equação genérica de continuidade:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Num certo intervalo de tempo, a massa de um fluido que entra em volume é igual à massa que sai mais a variação da massa contida no elemento. Considerando-se este volume sendo finito, no qual escoam um fluido entre duas seções num intervalo de tempo  $dt$ , tem-se:

$$\rho_1(A_1 v_1 dt_1) = \rho_2(A_2 v_2 dt_2) \quad (2)$$

onde:  $A$  é a área da superfície plana,  $v$  é a velocidade média do fluido e  $\rho$  é a massa específica do fluido.

Quando as partículas de um fluido têm a mesma velocidade num mesmo ponto em uma trajetória independente do tempo, este é dito permanente. Assim, para um fluido incompressível em regime permanente, simplifica-se a equação anterior para:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3)$$

Assim, a partir da lei de conservação de massa e a forma genérica da equação de continuidade, é possível reescrever a equação (1) como:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

onde:  $v_x, v_y, v_z$  são as componentes do vetor velocidade,  $t$  é o tempo e  $\rho$  é a densidade.

A taxa de variação da densidade pode ser substituída pela taxa de variação de pressão usando a seguinte correlação:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (5)$$

onde  $P$  é a pressão. A solução para a derivada parcial da densidade com relação à pressão é dada pela equação de equilíbrio. Se o fluido é compressível, um gás ideal é assumido e a solução é dada por:

$$\rho = \frac{P}{R.T} \Rightarrow \frac{\partial \rho}{\partial P} = \frac{1}{R.T} \quad (6)$$

onde:  $R$  é a constante do gás e  $T$  é a temperatura. Se o fluido for incompressível, a solução é então dada por:

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} = \frac{1}{\beta} \quad (7)$$

onde:  $\beta$  é o módulo de Bulk, cujo valor padrão de 1015 implica que para um fluido perfeitamente incompressível, ondas de pressão irão percorrer infinitamente rápidas pelo domínio inteiro do problema [9]. Por exemplo, uma queda no escoamento de massa será observada imediatamente.

Em um fluido Newtoniano, a relação entre tensão e taxa de deformação é dada por:

$$\tau_{ij} = -P\delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \delta_{ij} \lambda \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (8)$$

onde:  $\tau_{ij}$  é o tensor das tensões,  $u_i$  é a velocidade,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica e  $\lambda$  é o segundo coeficiente da viscosidade.

O último membro da equação, produto do segundo coeficiente da viscosidade e o divergente da velocidade, é nulo para um fluido de densidade constante e é tão pequeno em fluidos compressíveis que pode ser desprezado.

Se os efeitos inerciais são grandes quando comparados aos efeitos da viscosidade, o escoamento se torna turbulento, o que significa que a velocidade instantânea está flutuando em cada ponto no campo de escoamento. Portanto, a velocidade é expressa em termos de um valor médio e uma componente flutuante, ou seja:

$$v_x = \bar{v}_x + v'_x \quad (9)$$

onde:  $\bar{v}_x$  é a componente da velocidade na direção de  $x$  e  $v'_x$  é a componente flutuante da velocidade na direção de  $x$ .

Se a respectiva expressão for usada para obter a velocidade instantânea nas equações de Navier-Stokes, as mesmas devem ser então integradas no tempo. Torna-se importante notar que a integração no tempo de uma componente flutuante é nula e da velocidade instantânea é o valor médio absoluto. O intervalo de tempo para a integração explícita é escolhido arbitrariamente, de forma que seja pequeno o suficiente para que os deslocamentos transcorridos durante o intervalo não afetem a integração.

Considerando a viscosidade dinâmica para a modelagem da turbulência, os membros são colocados em forma de uma tensão viscosa proporcional a um coeficiente desconhecido, ou seja, a viscosidade turbulenta:

$$-\overline{\rho v_x v_y} = \mu \frac{\partial v_x}{\partial y} \quad (10)$$

Assim, a solução do problema turbulento é dada pela solução da turbulência viscosa.

Observa-se que nem a tensão de Reynolds nem os termos de fluxo de calor turbulento contêm uma densidade flutuante. Isto decorre da aplicação da interpolação de Favre [10]. Basicamente, esta técnica pondera cada termo pela densidade



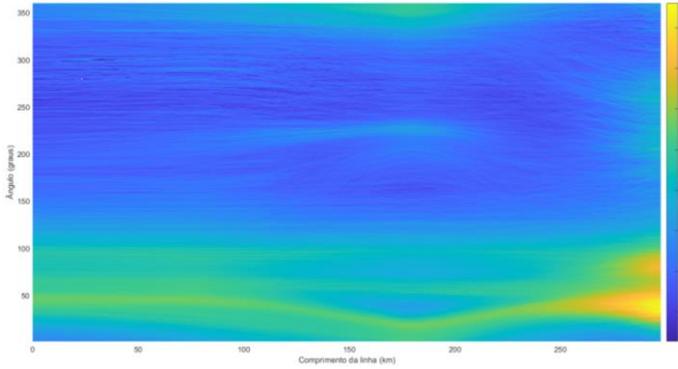


Fig. 5. Mapa de distribuição dos ventos - BACABEIRA - PARNAÍBA III C1.

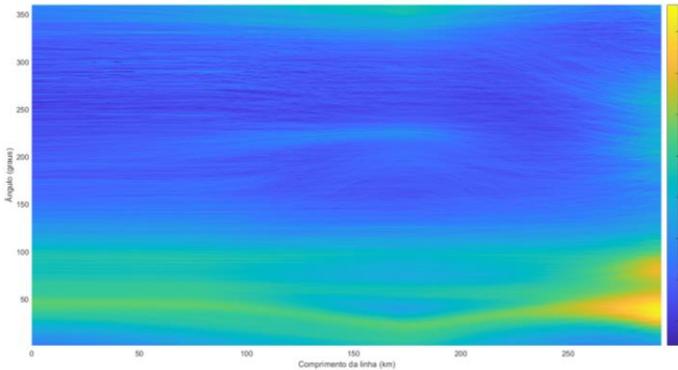


Fig. 6. Mapa de distribuição dos ventos - BACABEIRA - PARNAÍBA III C2.

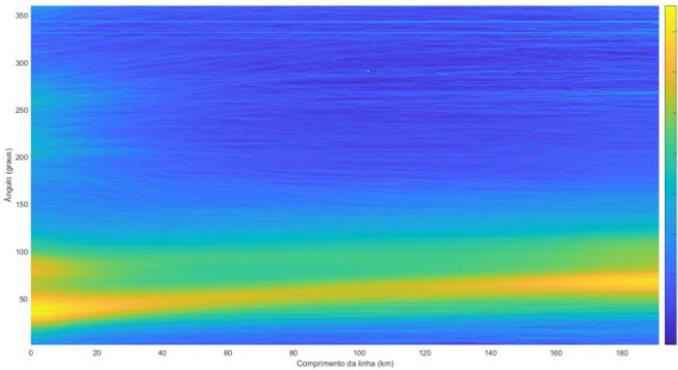


Fig. 7. Mapa de distribuição dos ventos - PARNAÍBA III - ACARAÚ III.

Dessa forma, o modelo para simular a deposição de contaminantes em isoladores e prover estimativa de desempenho de sistemas de isolamento envoltos no ar atmosférico deve considerar:

- Comportamento histórico de grandezas meteorológicas: Precipitação, temperatura, temperatura de orvalho; pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos.
- Modelo aerodinâmico do isolador e características das partículas em suspensão.

Para a estimação das grandezas meteorológicas foi utilizada a interpolação *spline*, orientada pelo inverso da distância entre o local de estimação e as estações meteorológicas. As medições disponíveis são dispersas, o que motiva a avaliação estatística dos valores estimados. As Figs. 8 e 9 ilustram as ocorrências das rajadas de vento ao longo das 5 linhas de transmissão analisadas. Já as Figs. 10 a 13 mostram os perfis de temperatura ao longo das respectivas linhas.

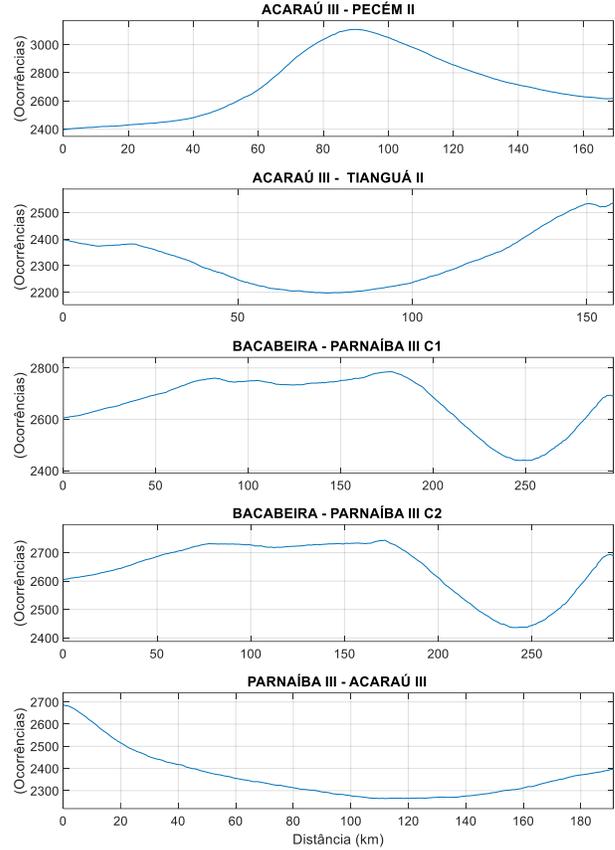


Fig. 8. Ocorrências/ano de rajada entre 30 e 50 km/h.

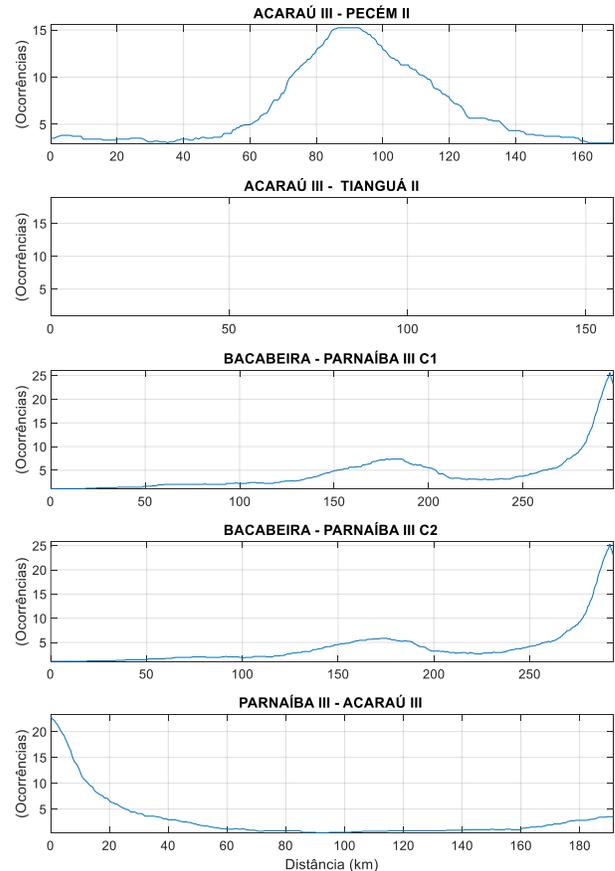


Fig. 9. Ocorrências/ano de rajada acima de 50 km/h.

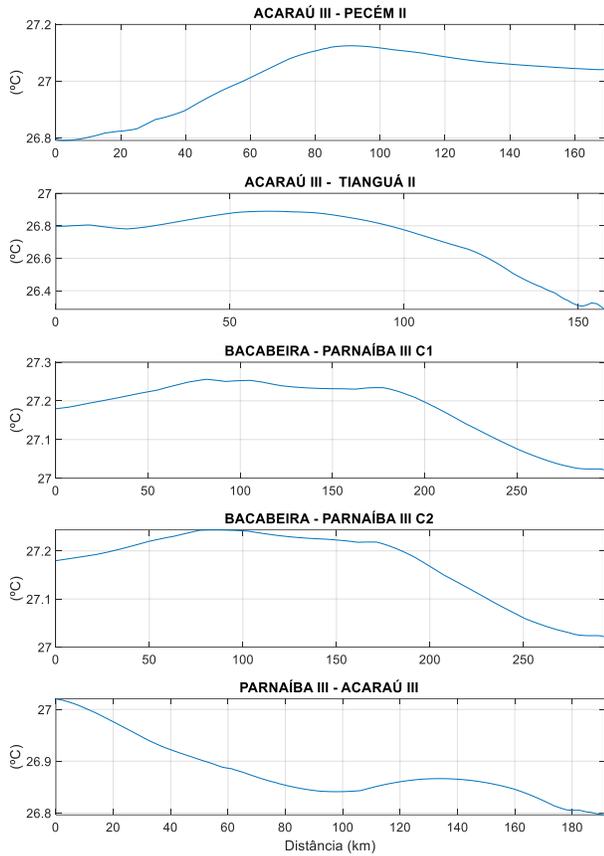


Fig. 10. Temperatura média (°C).

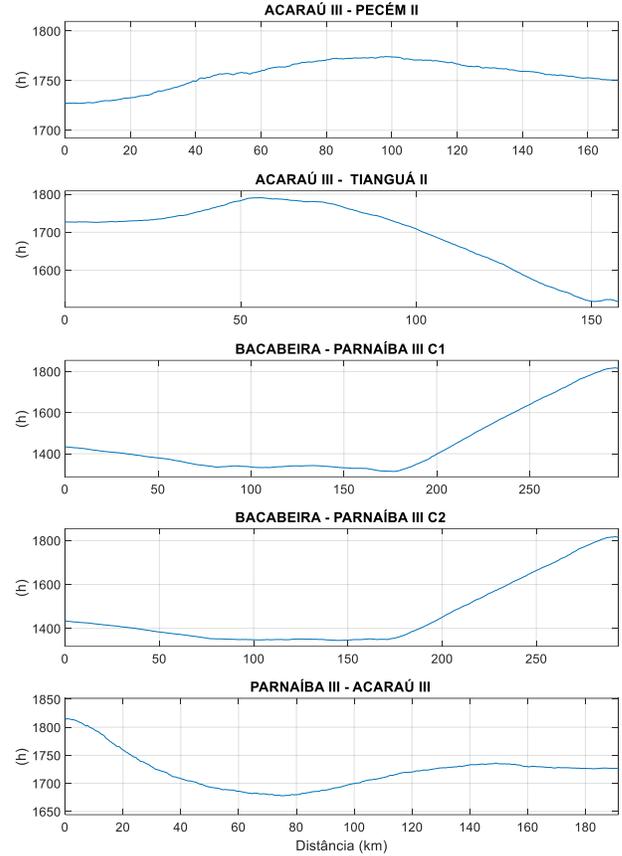


Fig. 12. Horas com temperatura entre 30 e 35 °C/ano.

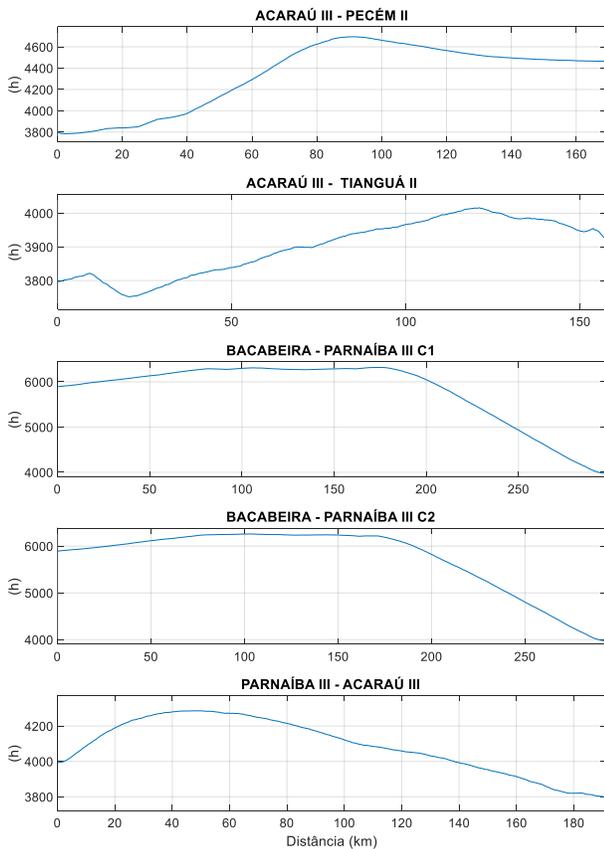


Fig. 11. Horas com temperatura entre 25 e 30 °C/ano.

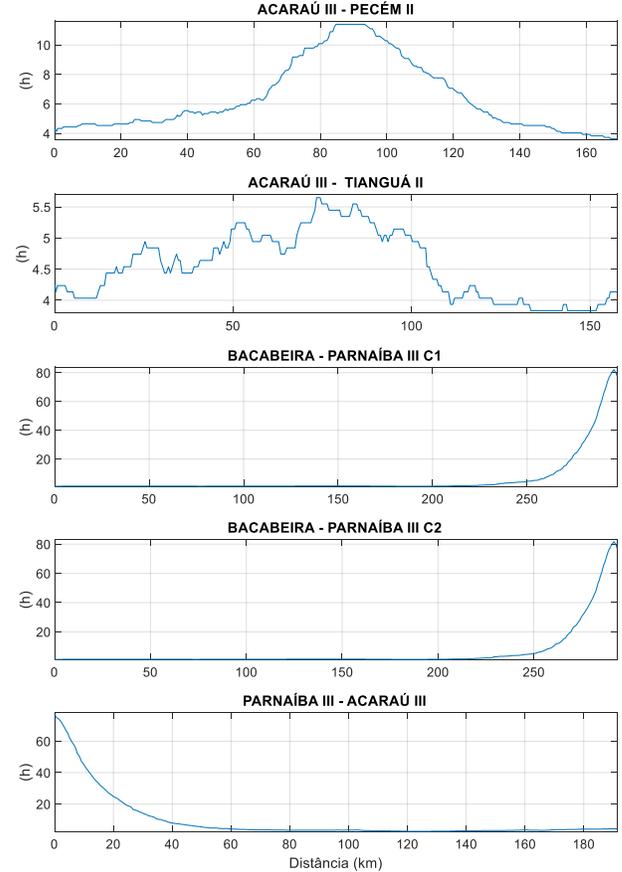


Fig. 13. Horas com temperatura acima de 35 °C/ano.

### B. Mapas de Força de Arrasto

Foram feitas também simulações da força de arrasto. Para cada torre (2248 ao todo) foram realizadas 86904 simulações. Cada simulação equivale à contribuição de 1 hora das condições ambientais na deposição de sujeidade nos alimentadores.

Assim, tem-se um panorama da deposição de sujeidade nos isoladores para um horizonte de 10 anos com resolução de 1 hora. A Fig. 14 apresenta o comportamento da simulação da força de arrasto para a torre de onde foram retirados os isoladores pilotos e que foram ensaiados na USP São Carlos.

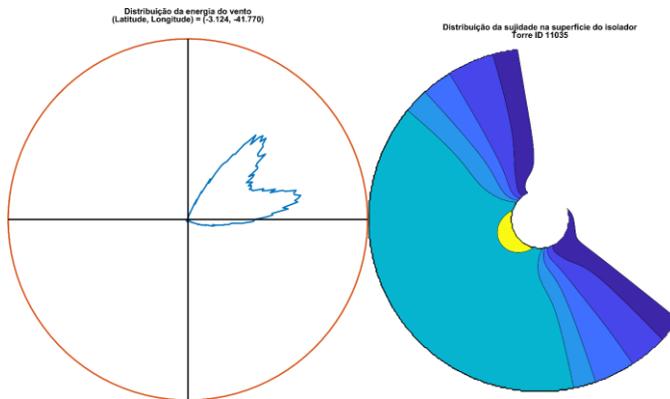


Fig. 14. Simulação do perfil de isoladores piloto.

Analisando-se a Fig. 14, do lado esquerdo tem-se a distribuição da energia do vento, com localização georreferenciada da posição da torre. Já no lado direito é possível se verificar a simulação da deposição de sujeidade, sendo que a área em branco representa a região com maior concentração de sujeidade.

Esta informação é de suma importância e corrobora com as hipóteses de que a sujeidade é depositada de maneira não uniforme na superfície do isolador. Análises semelhantes foram feitas para todas as torres de ARGO-I.

Assim, é possível verificar por meio das simulações realizadas que isoladores submetidos a um igual grau de poluição pode apresentar riscos distintos de falharem em função do regime de ventos da localidade.

Ainda, em função da probabilidade de condensação de vapor de água na superfície desses isoladores, tem-se maior ou menor frequência de eventos. Assim, é possível traçar um panorama de risco e de expectativa de eventos ao longo das linhas de transmissão, tal como representado pela Fig. 15, por meio de interface *Business Intelligence*.

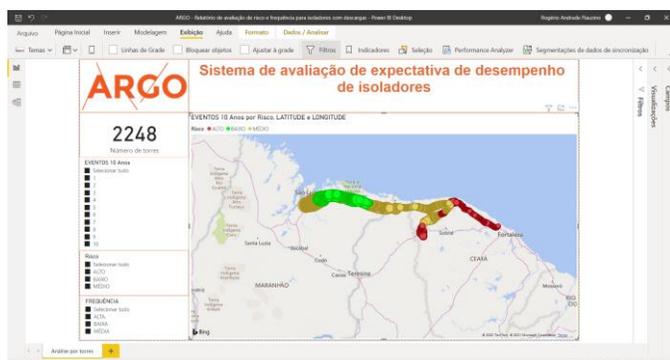


Fig. 15. Interface Business Intelligence para a expectativa de desempenho dos isoladores.

### IV. CONCLUSÕES

Conforme apresentado neste artigo, a modelagem proposta para o movimento de partículas de poluição do ar, bem como seus processos de colisão e deposição, leva em consideração um total de 18 atributos, como geometria do isolante, campo elétrico externo, formato da partícula, natureza do poluente, umidade, temperatura ambiente, temperatura de orvalho e o material isolante. O método proposto, baseado na avaliação integrada do impacto dos ventos e outros atributos meteorológicos e construtivos do isolante, juntamente com a adoção de técnicas de interpolação de dados georreferenciados, fornece uma ferramenta única que permite avaliar como cada uma dessas variáveis contribui para a deposição de contaminantes em isoladores, possibilitando a realização de análises que permitem mitigar a influência de cada um deles no desempenho dos sistemas de transmissão (linhas e subestações). Com base nesta informação estratificada, é então possível construir mapas de dispersão de cada um dos atributos meteorológicos ao longo da linha. Também é possível acompanhar a distribuição, em forma de mapa de energia, dos atributos relacionados ao vento, também estratificados por distância e ângulo da linha. As simulações de força de arrasto e heterogeneidade de deposição de sujeira em isoladores ainda fazem parte das análises, nas quais a teoria da dinâmica dos fluidos é utilizada para realizar os cálculos computacionais.

### V. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi também desenvolvido no âmbito do Programa de P&D regulado pela ANEEL.

### VI. REFERENCES

- [1] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method*. Pearson education, 2007.
- [2] H. de Santos and M. Á. Sanz-Bobi, "A cumulative pollution index for the estimation of the leakage current on insulator strings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 35, no. 5, pp. 2438-2446, Oct. 2020
- [3] L. P. S. Petri et al., "A portable system for the evaluation of the degree of pollution of transmission line insulators," *Energies*, vol. 13, no. 24, p. 6625, Dec. 2020.
- [4] A. R. Verma and B. S. Reddy, "Interpretation of surface degradation on polymeric insulators", *Engineering Failure Analysis*, vol. 95, pp. 214-225, Jan. 2019.
- [5] J. Aitchison, "The statistical analysis of compositional data," *Journal of the Royal Statistical Society – Series B (Methodological)*, vol. 44, no. 2, pp. 139-177, 1982.
- [6] M. Jiang et al., "Dust contamination on surface of transmission line insulators in air-polluted regions in China: statistical characteristics, adhesion mechanism, and environmental impact factors," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, pp. 23643–23654, 2020.
- [7] A.D. Polyinin, A. M. Kutepov, A.V. Vyazmin, and D.A. Kazenin, *Hydrodynamics, Mass and Heat Transfer in Chemical Engineering*. CRC Press, 2019.
- [8] A. J. Chorin and J. E. Marsden, *A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics*. Springer, 1999.
- [9] J. Donea and A. Huerta, *Finite Element Methods for Flow Problems*. John Wiley & Sons, 2003.
- [10] D. Anderson, J. C. Tannehill, R. H. Pletcher, R. Munipalli, and V. Shankar, *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer (4th ed.)*. CRC Press, 2020.
- [11] B. E. Launder and D. B. Spalding, "The numerical computation of turbulent flows", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 3, pp. 269-289, 1974.

## VII. BIOGRAPHIES



**Ivan Nunes da Silva** É bolsista Produtividade em Pesquisa pelo CNPq desde o ano 2000. Possui graduação em Ciência da Computação (Bacharel) pela Universidade Federal de Uberlândia (1991), graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1992), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1995) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1997).

Atualmente é Professor Titular (MS-6) do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade de São Paulo (USP // Campus de São Carlos). Recebeu diversas premiações e menções honrosas no Brasil e no Exterior. Foi Editor-Chefe do "Journal of Control, Automation and Electrical Systems", promovido pela Sociedade Brasileira de Automática (SBA), entre 2013 e 2017, e da Revista "Controle & Automação" (em 2012). Atualmente, desempenha o papel de Editor-Chefe Emérito do Journal of Control, Automation and Electrical Systems", e de Editor-Associado da "Polytechnica (SPRINGER)". É integrante do Comitê Técnico "Computers for Control" do IFAC (International Federation of Automatic Control). Atua como revisor de artigos submetidos em mais de 25 periódicos científicos internacionais. É assessor científico da FAPESP, CNPq, CAPES, FAPEMIG, FACEPE, FAPESPA e Fundação Araucária (Governo do Paraná). Possui mais de 80 artigos publicados em periódicos nacionais/internacionais e mais de 380 artigos completos em anais de eventos científicos. Possui 8 livros publicados (incluía 2 organizações de obra), sendo ainda autor de 19 capítulos de livros já também publicados. Orientou 40 dissertações de mestrado (incluía 2 co-orientações) e 28 teses de doutorado (incluía 3 co-orientações). Já coordenou mais de 10 projetos de pesquisa fomentados por agências públicas. Participou em mais de 200 bancas de mestrado/doutorado. Possui 7 patentes depositadas junto ao INPI. É fundador e coordenador do Laboratório de Automação Inteligente de Processos e Sistemas (LAIPS) da USP, sendo também coordenador do respectivo grupo de pesquisa certificado pelo CNPq. Suas áreas de pesquisas incluem temas relacionados à automação inteligente de processos envolvendo sistemas elétricos de potência, controle inteligente de máquinas e equipamentos elétricos, projeto de arquiteturas de sistemas inteligentes, identificação e otimização de sistemas.



**Beatriz de Lima Tavares** Possui mestrado em Engenharia Elétrica pela UNICAMP em Sistemas Elétricos de Potência, pós-graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho (PUC-Minas) e graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Atualmente é Gerente de Expansão - Reforços e Melhorias na ARGO Transmissão de Energia. Possui experiência em regulação do setor elétrico, planejamento da expansão e análise de operação. Sua área de interesse é sistemas de potência e energia.



**Rogério Andrade Flauzino** Graduado em Engenharia Elétrica pela UNESP/Bauru (2001), mestrado em Engenharia Industrial pela UNESP/Bauru (2004), doutorado em Engenharia Elétrica pela USP/EESC (2007) e Livre-Docente pela USP/EESC em 2014. É revisor do Journal of Control, Automation and Electrical Systems, IEEE Transaction on Power Delivery, IEEE Transaction on Power Systems, Electric Power Systems Research, International Journal of Electrical Power & Energy Systems e Applied Soft Computing. As áreas de atuação se concentram em Sistemas Elétricos de Potência e Sistemas Inteligentes. As pesquisas atualmente em desenvolvimento são direcionadas às redes inteligentes, estudo de sistemas de armazenamento de energia e gestão de ativos em sistemas elétricos de potência.



equipamentos de linhas de transmissão.

**Sofia Moreira de Andrade** Mestre em Engenharia Elétrica na área de concentração de Sistemas Dinâmicos pela USP/São Carlos (2020). Graduada em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação pela USP/São Carlos (2018). Atualmente, é aluna de Doutorado da Universidade de São Paulo, na área de Sistemas Dinâmicos. Tem experiência de docência na área de engenharia elétrica e eletrônica. As áreas de pesquisa são focadas em projetos de aprendizado de máquinas, sistemas fotovoltaicos, sistemas embarcados e



**Danilo Hernane Spatti** é Professor Dr. no Departamento de Sistemas de Computação da USP São Carlos (SSC/ICMC/USP), onde ministra disciplinas de Circuitos Eletrônicos Digitais, Sistemas Embarcados e Computação Científica. Formou-se em 2005 em Engenharia Elétrica com ênfase em Informática Industrial pela Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP Bauru. É Mestre em Engenharia Elétrica pela USP São Carlos (2007), sendo bolsista CAPES. Em 2011 obteve o título de Doutor em Ciências pelo Programa de Engenharia Elétrica da EESC/USP, desenvolvendo pesquisas na área de proteção de sistemas de distribuição, sendo bolsista da FAPESP. Foi bolsista de Pós Doutorado (CAPES/PNPD) UNESP / Bauru entre 2013 e 2014 e pela USP / São Carlos entre 2014 e 2015. É autor de 3 Patentes, 4 Livros e 7 Capítulos de Livros que figuram como textos mais influentes nas áreas de Inteligência Computacional, Mineração de Dados, Eletrônica Digital e Processamento de Sinais, aplicados às mais diversas áreas de conhecimento. Desde 2015 coordena o Grupo de Estudos em Sinais Biológicos - GE4Bio envolvendo instituições nacionais e internacionais.



**Victor Hideki Yoshizumi** Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2018) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2021) sendo bolsista CAPES. Atualmente é aluno de doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo como bolsista CAPES. Tem experiência na área de Aprendizagem de Máquinas, Mineração de Dados, Algoritmos Bioinspirados, Processamento Digital



**Wallace Honorato Moreira** Engenheiro Eletricista com experiência em obras de Linhas de Transmissão de 138 à 800 kV, com atuação nas etapas de elaboração de Projeto Básico e Executivo, Serviços Preliminares de Engenharia (Topografia e Sondagem), Gestão de Projetos de Obras de Linhas de Transmissão, Fornecimento de Materiais e Acompanhamento das obras de Construção das LTs. Atualmente, ele tem desempenhado o cargo de Gerente de Novos Negócios da ARGO Energia.



**Ana Claudia Carvalho Barquete** Possui graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação pela Universidade de São Paulo - USP (2013). Tem 3 anos de experiência na área de projetos de Engenharia Elétrica. Experiência também no setor elétrico, na área de comercialização de energia elétrica, distribuição, geração e transmissão.