

Editorial

A Revista Engenharia, Meio Ambiente e Inovação é a concretização de um anseio de uma equipe, que se iniciou nos primeiros resultados das pesquisas do Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade do curso de Engenharia Civil. Neste anseio, buscamos continuamente realizar o compartilhamento das iniciativas científicas realizadas com o meio acadêmico e a sociedade, assim como, fortalecer o incentivo ao desenvolvimento de estudos interdisciplinares. Esta edição, em especial, com um número reduzido de submissões em função da pandemia COVID-19, contempla os esforços do Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade para a difusão do conhecimento de pesquisas científicas direcionadas para a região da Baixada Fluminense, Rio de Janeiro.

A revista aborda temáticas concernentes a um abrangente enfoque sobre as inter-relações entre Engenharia e sociedade, seja pela interação, seja pelas relações com meio ambiente e soluções inovadoras, seja por sua relação com o processo de desenvolvimento, a partir de resultados de pesquisas e reflexões teóricas e empíricas sobre as áreas temáticas descritas em seu escopo. A Revista visa se tornar um facilitador para os trabalhos científicos das áreas de Engenharia e afins servindo a todos que pretendam aumentar a produção científica com a chancela da UNIG sendo este o papel das Instituições de Ensino, apoiar e colocar à disposição de docentes, discentes e da sociedade as condições para a divulgação das pesquisas e dos trabalhos e ideias.

Fabricio Polifke da Silva

Editor associado

**ASSOCIAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR DE NOVA IGUAÇU UNIVERSIDADE
IGUAÇU –UNIG**

DIRIGENTES- CAMPUS NOVA IGUAÇU

Fábio Raunheitti

Chanceler “In memoriam”

Prof. Marcelo Gomes da Rosa

Reitor

André Nascimento Monteiro

Vice-Reitor

Fábio Barbosa Batista

Pró-Reitor Acadêmico

Paula Guidone Pereira Sobreira

Coordenadora de Extensão e Assuntos Comunitários

Adalgiza Mafra Moreno

Coordenadora de Pesquisa

Claudia Antunes Ruas

Coordenadora do Núcleo de Educação a Distância

Andrea Matias Evangelho

Secretário Geral

Universidade Iguaçu

Av. Abílio Augusto Távora, 2134–CEP 26.260-000

Nova Iguaçu–RJ–Brasil–Tel.:27654051

www.unig.br

CORPO EDITORIAL

Editora-Chefe

Gisele Dornelles Pires (UNIG)

Editor Associado

Fabricio Polifke da Silva (UNIG)

Conselho Editorial

Alexandre Luis Belchior dos Santos (FAU/FISS)

Carlos Rogerio Domingos Araújo Silveira (UNIG)

Cinthia Martins Avellar (INEA)

Claudia Daza Andrade (UFRRJ)

Ligia Maria Nascimento De Araújo (ANA)

Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva (UENF)

Paula Fernanda Chaves Soares (UFRRJ)

Priscila da Cunha Luz Barcellos (UFF)

Rafael João Sampaio (UNIG)

Thábata Teixeira Brito (INCAPER)

REVISTA ENGENHARIA, MEIO AMBIENTE & INOVAÇÃO / Universidade
Iguaçu, v.05, n.2 (Julho 2020). Nova Iguaçu – Rio de Janeiro
ISSN 2595-5616
Semestral

FOCO E ESCOPO

A REVISTA ENGENHARIA, MEIO AMBIENTE & INOVAÇÃO é o periódico oficial da Universidade Iguazu (UNIG), uma publicação semestral gratuita. A Revista esforça-se para publicar estudos de alto padrão científico e que tenham o objetivo de divulgar as produções nas áreas da *Engenharia* com ênfase *Meio ambiente, Recursos Hídricos, Geociências, Meteorologia, Sensoriamento Remoto e Defesa Civil*. A revista aborda temáticas concernentes a um abrangente enfoque sobre as inter-relações entre tecnologia e sociedade, seja pela interação, seja pelas relações de trabalho e de educação, seja por sua relação com o processo de desenvolvimento, a partir de resultados de pesquisas e reflexões teóricas e empíricas sobre as áreas temáticas descritas acima.

Sumário

Estudo de Dispersão Atmosférica do Poluente Atmosférico PM10 proveniente da Reciclagem do Alumínio Secundário	8
Maicon Martins da Costa ¹ ; Carlos Eduardo Guarido ² ; Fabrício Polifke da Silva ² ; Gisele Dornelles Pires ²	8
Parede Diafragma com Tirante Provisório	17
Micheline Viviane Penha Marins ¹ ; Carlos Eduardo Guarido ² ;.....	17
Geoprocessamento aplicado a monitoramento climático e identificação de ilhas de calor no município de nova Iguaçu/RJ.....	25
Amanda de Paiva Pimenta da Silva ¹ ; Gisele Dornelles Pires ² ; Rafael João Sampaio ² ; Fabricio Polifke da Silva ²	25
Análise da sensibilidade do modelo WRF em diferentes esquemas de parametrização de Cúmulos para um evento de chuva extrema ocorrido na cidade de Nova Iguaçu.....	33
Daniela Dantas da Silva ¹ ; Gleison Rodrigues da Silva ¹ ; Fabricio Polifke da Silva ¹ , Gisele Dornelles Pires ¹ ; Carlos Eduardo Moreira Guarido ¹	33
Análise hidrometeorológica da chuva observada na área de contribuição do rio Pavuna em eventos passados de transbordamento	41
Marcelo Negreiros de Araújo Junior ¹ ; Larissa Mylena Santos Paulo ¹ ; Fabricio Polifke da Silva ¹ ; Gisele Dornelles Pires ¹ ; Carlos Eduardo Moreira Guarido ¹	41

Estudo de Dispersão Atmosférica do Poluente Atmosférico PM10 proveniente da Reciclagem do Alumínio Secundário

Maicon Martins da Costa¹; Carlos Eduardo Guarido²; Fabrício Polifke da Silva²; Gisele Dornelles Pires²

¹ Aluno do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil- Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguazu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

² Professor Engenharia Civil -Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguazu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

mmartinsengcivil@gmail.com, carlosguarido@globo.com, briciopolifke@gmail.com, eng.gisele.pires@gmail.com

Resumo - Apesar de todo o progresso alcançado na redução da emissão de poluentes atmosféricos durante as últimas décadas, a poluição do ar ainda representa um dos principais problemas ambientais nos centros urbanos. A qualidade do ar pode ser avaliada, em nível local, regional, nacional e internacional, através de estimativas das emissões, do uso de modelos matemáticos e de medidas das concentrações ambientais dos principais poluentes usando métodos físico-químicos. Os possíveis efeitos dependem não somente da concentração e da duração do impacto, mas também de muitos fatores diferentes como o clima, o impacto simultâneo de outros poluentes, dentre outros que desempenham um papel importante. A partir dessas considerações, o objetivo desse trabalho foi realizar um estudo de dispersão do poluente atmosférico PM 10 monitorado por isocinética na saída da chaminé, do processo produtivo da Empresa Alutech Alumínio LTDA, correlacionando-o com as variáveis meteorológicas, propondo medidas de controle e procedimentos para mitigar os impactos a população do entorno a empresa. O cruzamento destes dados permitiu a modelagem da fonte, dispersão, cobertura e distanciamento da fonte. Foi possível analisar o comportamento da pluma de dispersão com a variação da altura da fonte, buscando a mínima variação para melhor dispersão dos poluentes, e propondo medidas em dias de inversão térmica.

Palavras Chaves: poluição do ar, monitoramento, dispersão dos poluentes, modelagem.

Abstract - Despite all the progress made in reducing the emission of air pollutants during the last decades, air pollution still represents one of the main environmental problems in urban centers. Air quality can be assessed, at the local, regional, national and international level, through estimates of emissions, the use of mathematical models and measures of the environmental concentrations of the main pollutants using physical-chemical methods. The possible effects depend not only on the concentration and duration of the impact, but also on many different factors such as the climate, the simultaneous impact of other pollutants, among others that play an important role. Based on these considerations, the objective of this work was to carry out a dispersion study of the atmospheric pollutant PM 10 monitored by isokinetics at the chimney outlet, of the production process of the Company Alutech Alumínio LTDA, correlating it with the meteorological variables, proposing control measures and procedures to mitigate the impacts on the population surrounding the company. The crossing of these data allowed the modeling of the source, dispersion, coverage and distance from the source. It was possible to analyze the behavior of the dispersion plume with the variation of the height of the source, looking for the minimum variation for better dispersion of the pollutants, and proposing measures in days of thermal inversion.

Key Words: *air pollution, monitoring, dispersion of pollutants, modeling.*

1 Introdução

O crescimento demográfico e o desenvolvimento econômico marcado pela Revolução Industrial, nos séculos XVIII e XIX, levaram a um aumento da demanda pelos recursos naturais, e, conseqüentemente, os impactos ambientais passaram a crescer em ritmo acelerado, chegando a provocar desequilíbrio não apenas localmente, mas também em escala global (Conceição 2001).

As intensificações desse desenvolvimento, somada a aglomeração da população em centros urbanos tornou a poluição atmosférica um problema não só ambiental, mas também de saúde pública. Além da deterioração da qualidade do ar e da poluição do solo e da água, a exposição aos poluentes atmosféricos está associada a doenças cardiovasculares, respiratórias e ao câncer (Ribeiro 1993).

Diante disso, com a crescente preocupação da sociedade em busca do comprometimento com as causas ambientais bem como a minimização dos impactos causados à saúde, aliada ao fortalecimento da fiscalização por parte dos órgãos fiscalizadores competentes, fez-se necessário o uso e o aprimoramento dos processos de monitoramento ambiental, em específico o da Qualidade do Ar (CETESB 2011).

Segundo Quiterio (2005) e Sicard (2010), o monitoramento da qualidade do ar consiste na coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático de parâmetros, com o objetivo de identificar e avaliar - qualitativa e quantitativamente – as condições do ar atmosférico em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo, permitindo o desenvolvimento de estratégias e regulamentações para o controle da poluição do ar.

O município de Duque de Caxias se estende por 467,271 km² e contava com 914.383 habitantes no último censo (IBGE, 2018). A densidade demográfica é de 1.956,86 habitantes por km² no território do município. O município limita-se ao norte com Petrópolis e Miguel Pereira; ao leste, com a Baía da Guanabara e Magé; ao sul, com a cidade do Rio de Janeiro e, a oeste, com São João de Meriti, Belford Roxo e Nova Iguaçu. Caxias possui clima quente, porém os terceiro e quarto distritos (Imbariê e Xerém) têm temperatura amena em virtude da área verde e da proximidade da Serra dos Órgãos.

Esse desenvolvimento urbano e industrial, apesar de gerarem diversos benefícios, têm elevado os índices de emissões de poluentes atmosféricos na região.

A fim de quantificar e avaliar essas emissões, o município conta com uma Rede Telemétrica da Qualidade do Ar englobando estações que monitoram continuamente e em tempo real as concentrações de materiais particulados (MP1, MP2,5 e MP10), partículas totais em suspensão (PTS), dióxido de enxofre (SO₂), ácido sulfídrico (H₂S), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e óxidos de nitrogênio (NOX, NO e NO₂).

Destaca-se, ainda, que esta rede de monitoramento é um mecanismo de controle importante no contexto não só da degradação da qualidade do ar, mas também na elaboração de inventários, na avaliação dos efeitos à saúde e na divulgação dos dados para o conhecimento da população, já que esses são os mais afetados (Carvalho e Lacava 2013).

A inexistência de estudos sobre a qualidade do ar da região de Duque de Caxias bem como da atual distribuição espacial de fontes de emissões, fazem desse trabalho uma importante fonte de informações sobre a concentração dos poluentes atmosféricos na região e dos padrões de qualidade do ar.

A partir dessas considerações, o objetivo desse trabalho é realizar um estudo de dispersão do poluente atmosférico PM 10 monitorado por isocinética na saída da chaminé, do processo produtivo da Empresa Alutech Alumínio LTDA, estabelecida na cidade de Duque de

Caxias, Rio de Janeiro, correlacionando-o com as variáveis meteorológicas, propondo medidas de controle e procedimentos para mitigar os impactos a população do entorno a empresa.

2 Metodologia

Monitoramento Isocinético

Esta avaliação constituiu da inserção de um amostrador para material particulado no duto de saída da chaminé. A amostragem foi realizada pela empresa WS Engenharia Ambiental Ltda, especialista neste tipo de análise. Com os resultados da análise foi possível medir a eficiência do sistema de controle atmosférico, utiliza-los para alimentar o *software* AERMOD e propor medidas para mitigar os impactos gerados pela atividade.

As medições foram executadas em concordância com os métodos do Instituto Estadual do Ambiente – INEA, órgão ambiental do Estado do Rio de Janeiro e U.S *Environmental Protection Agency* (USEPA).

2.1 Dados da Qualidade do Ar

Os dados meteorológicos utilizados foram reais, retirados da estação de monitoramento meteorológico do Aeroporto Internacional do Galeão, para o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2017, totalizando 8.760 dados horários, onde foram utilizados os seguintes parâmetros: direção (graus) e velocidade do vento (m/s), temperatura ambiente (C°), cobertura de nuvens (décimos) e pressão barométrica que foram inseridos no AERMET, responsável por processar e preparar os arquivos meteorológicos nos formatos (*.sfc e *.pfl), que foram utilizados como dados de entrada, no formato SAMSON, no AERMOD View. O arquivo com a extensão (*.sfc) apresentaram os dados meteorológicos de superfície, enquanto o arquivo (*.pfl) contiveram informações relativas aos parâmetros da camada limite, calculados pelo AERMET.

Os dados de qualidade do ar foram obtidos da estação telemétrica de qualidade do ar do Jardim Primavera, operada pelo INEA, a partir das séries temporais, para o período de janeiro de 2017 a dezembro de 2017, disponíveis no site, para os parâmetros óxidos de nitrogênio (NOx), ozônio (O3), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO2) e material particulado (MP10), umidade relativa (ur), bem como dados meteorológicos como direção e velocidade do vento.

2.2 Modelagem de Dispersão de Poluentes

O modelo de dispersão utilizado neste estudo foi do *software* AERMOD View versão 9.6 da Lakes *Environmental Consultants* (2019), Inc. Ontário-Canadá. As características técnicas selecionadas no *software* para as modelagens desta pesquisa foram:

- ✓ Receptores; Área de influência da atividade industrial representada por sistema de coordenadas Cartesianas (x, y), considerando a elevação de cada ponto do receptor, em relação ao nível do mar;
- ✓ Dados Meteorológicos; dados reais para o ano 2017;
- ✓ Resultados das concentrações de poluentes: Primeira Máxima para períodos de 24 horas e anual; e
- ✓ Poluente: Material Particulado (MP10).

Como fonte emissora de poluentes atmosféricos foi selecionada 01 (uma) chaminé. As variáveis técnicas que caracterizam a fonte emissora (chaminé) usadas como dados de entrada no AERMOD View foram as seguintes: coordenadas geográficas da fonte; altitude na base da fonte; altura física da fonte; diâmetro interno da fonte na saída da chaminé; dados de concentração monitorados por isocinética.

3 Resultados

Monitoramento Isocinético

Os resultados do monitoramento isocinético são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do monitoramento isocinético após o sistema de controle atmosférico

Valores						
	símbolos	unidade	amost. # 1	amost.# 2	amost. # 3	média
Data da amostragem	-	-	03/07/2018	03/07/2018	03/07/2018	-
Duração da amostragem	t	min	60	60	60	-
Temperatura na chaminé	Tc	°C	57	57	58	57
Volume medido nas CNTP	VgN	Nm ³	0,9940	1,0421	0,9882	1,0081
Umidade do gás	Bag	%	1,32	1,26	1,07	1,22
Velocidade do gás	v	m / seg	8,85	9,22	8,66	8,98
Vazão normal base seca	Qnbs	Nm ³ / h	81.994	85.436	82.037	83.156
Isocinética	I	%	99,21	99,85	98,60	-
Concentração de material particulado	C	mg / Nm ³	6,84	2,69	7,69	5,74
Taxa de emissão de material particulado	Te	Kg / h	0,561	0,230	0,631	0,474

O resultado obtido para o parâmetro Material Particulado foi comparado por similaridade com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 2006) 382/2006, para atividade de Cimento Portland em que o limite para o Material Particulado é de 50 mg/Nm³. A diretriz do INEA que estabelece o limite para este poluente foi revogada. Nota-se que o valor médio encontrado está bem abaixo do limite, em conformidade com a legislação vigente.

3.1 Modelagem de Dispersão de Poluentes

A seleção das fontes emissoras de poluentes atmosféricos, a quantificação das emissões, constituem-se em subsídio fundamental para o desenvolvimento das simulações de dispersão pretendida. Foi realizada a alimentação do modelo matemático de dispersão empregado para a determinação do impacto (contribuições) dessas fontes na qualidade do ar da região de interesse.

A modelagem de dispersão foi realizada considerando a fonte fixa (chaminé) situada após o sistema de controle atmosférico por filtros de manga. A altura da chaminé era de 10 metros. A dispersão das emissões foi avaliada em uma grade de receptores, com abrangência equivalente a 500 km² para área simulada. As variáveis básicas que caracterizaram a chaminé e usada como dados de entrada no *software* AERMOD View foram: coordenadas geográficas da fonte de emissão; altitude na base da fonte de emissão; altura física da fonte de emissão; e diâmetro interno

da fonte de emissão na saída da chaminé, apresentando unidade de medida em metro. A tabela 2 apresenta as características físicas da fonte fixa emissora utilizada nas simulações.

Tabela 2 – Características físicas da fonte fixa emissora

Fonte	Caracterização das fontes				Taxa de emissão
Descrição	Altura da chaminé (m)	Temperatura dos gases (k)	Velocidade dos gases (m/s)	Diâmetro chaminé (m)	Material particulado (kg/h)
Chaminé	10	33	8,98	2	0,474

As propriedades das emissões atmosféricas utilizadas nas simulações foram estimadas a partir de fatores de emissão característicos da atividade produtiva. Foram consideradas para as modelagens somente as fontes fixas (isocinética), desconsiderando as fontes móveis e fontes fugitivas.

A escolha do poluente (MP10) justifica-se pela significância de suas emissões nas tipologias de fontes das atividades produtivas existentes na região estudada. Assim como, serem considerados convencionais e/ou regulamentados pela resolução CONAMA 03/1990 (CONAMA 1990), que estabelece padrões primários e secundários de qualidade do ar a serem obedecidos na região de estudo, além de serem precursores da formação de poluentes secundários na atmosfera.

As principais variáveis meteorológicas da área de estudo que contribuíram diretamente para a dispersão de poluentes atmosféricos foram a temperatura, velocidade, direção do vento e precipitação.

A pluma de poluentes resultante da simulação de 24 horas apresentou perímetro aproximado de 30 km, se dispersando principalmente nas direções Nordeste (NE), Sudoeste (SE) e Oeste (W), conforme pode ser observado nas isolinhas de concentrações das figuras 01, 02 e 03.

O deslocamento da pluma na orientação Sudoeste, em linha reta, a partir das fontes emissoras, com concentrações variando de 4,48 a 3,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (próximo das fontes, com variação de altura de 10 a 14 m) e, de 0,04 a 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (nos pontos mais distantes) conforme demonstrado pelas isolinhas de concentrações. A tabela 3 apresenta para cada simulação de altura, as concentrações mínimas e máximas.

Tabela 3 – Variação das concentrações mínima e máxima de PM10, com variação de altura da chaminé.

Altura da Chaminé (m)	Concentração Máxima ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentração Mínima ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10	0,048	4,81
12	0,04	4,22
14	0,04	3,58

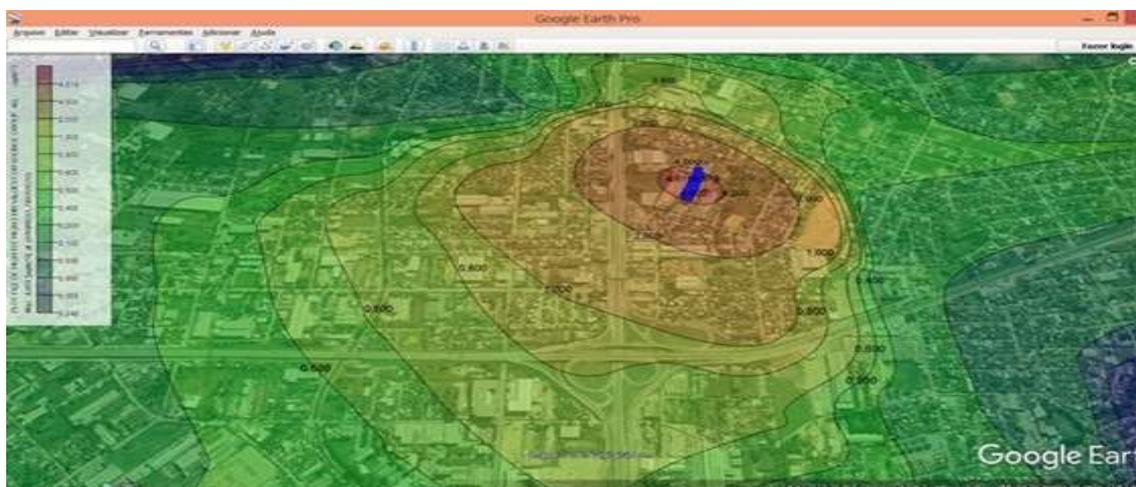


Figura 1 - Modelagem de PM10 com o modelo AERMOD - isolinhas de concentrações da pluma sobre áreas habitadas, para uma chaminé com altura de 10 metros. Simulação anual.

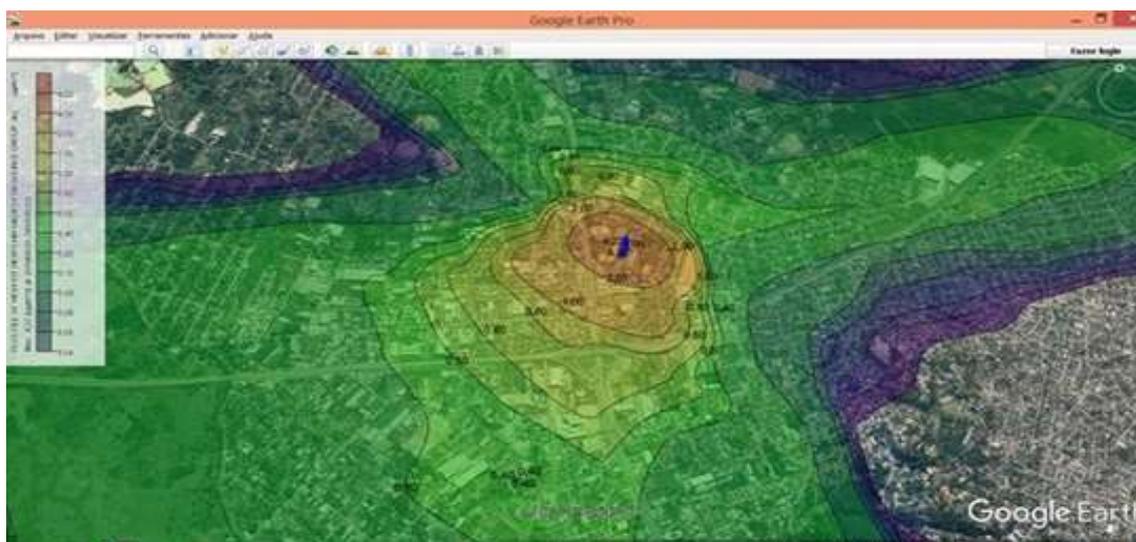


Figura 2 - Modelagem de PM10 com o modelo AERMOD - isolinhas de concentrações da pluma sobre áreas habitadas, para uma chaminé com altura de 12 metros. Simulação anual.

Os dados reportados na tabela 3, confrontados com o perfil de isolinhas de concentrações das figuras 01, 02 e 03, mostram que a altura base de 10 metros, apresentam uma redução de 13% quando aumentado 2 metros, 25% quando aumentado 4 metros.

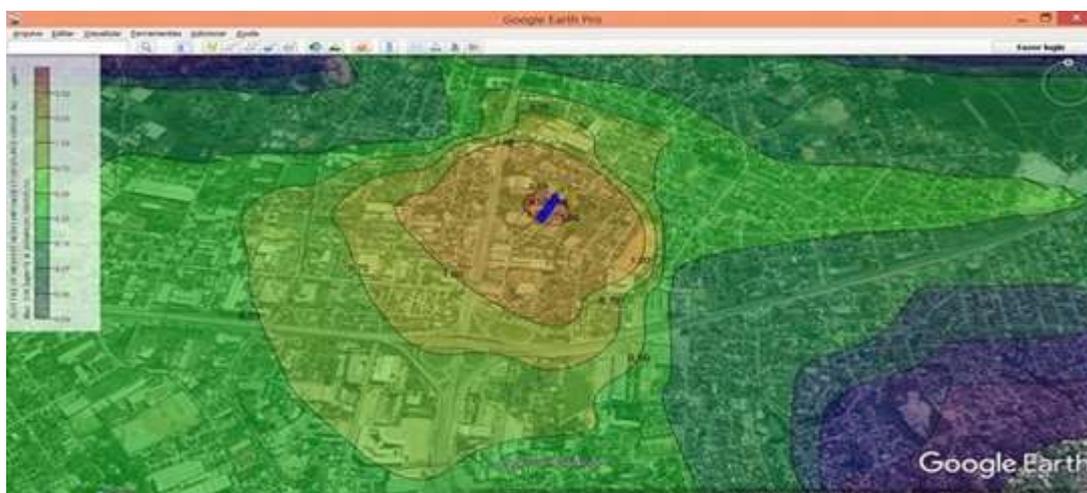


Figura 03 - Modelagem de PM10 com o modelo AERMOD - isolinhas de concentrações da pluma sobre áreas habitadas, para uma chaminé com altura de 14 metros. Simulação anual.

Nestas figuras, pode-se observar que a Vila Maria Helena e Parque Santa Lucia foram os locais afetados pela dispersão de poluentes atmosféricos simulados. As áreas avaliadas apresentavam heterogeneidade de atividades econômicas como comércio, serviços, lazer e indústrias, oferecendo melhor oferta de serviços públicos entre outros, redes de abastecimento de água, rede de distribuição de energia elétrica e serviço de atendimento à saúde.

A maioria dos imóveis era desprovida de serviços de coleta de resíduos domésticos, tratamento de água e esgoto. A distribuição de energia elétrica e água se estendia de modo abrangente a todas as residências. No que se refere à tipologia construtiva e a existência ou não de infraestrutura (saneamento básico, fornecimento de energia, serviço de saúde, organização comunitária, etc.), percebeu-se que às formas de ocupação existentes nas comunidades reflete-se numa organização espacial com grande disparidade entre relação à Vila Maria Helena e Parque Santa Lucia.

É importante ressaltar nas comunidades relatadas não houve indícios dos efeitos da exposição ao material particulado, que sugerissem associação aos efeitos adversos à saúde respiratória.

O aumento da chaminé em 04 metros foi suficiente para a dispersão do material particulado, não afetando a população no entorno, visto a redução em 25% das concentrações. Corroborado pela eficiência do sistema de controle instalado, uma vez que os resultados da amostragem isocinética mostraram que a concentração na entrada foi medida em $266,32 \text{ mg/Nm}^3$ e após saída $5,74 \text{ mg/Nm}^3$.

No entanto, como forma de preservar ainda mais a população do entorno, medidas de redução na produção foi adotada em dias de inversão térmica, uma vez que a dispersão ocorre de forma lenta. Para tanto, como metodologia de análise, em dias de inversão térmica a produção é reduzida em 30%, com troca de matéria-prima mais limpa (latas de alumínio) em vez de outros materiais a base de alumínio (painéis, motores, perfis, etc), reduzindo o tempo de fusão no forno rotativo. Além destas ações, a perda de carga do sistema de controle é monitorada, de forma a evitar a colmatação de material nos dutos e sistema de jato pulsante das mangas mais eficiente,

com coleta do material particulado em bags lacrado, não permitindo emissões fugitivas, deposição sobre piso e nova suspensão do material.

4 Conclusões

As modelagens demonstraram a possibilidade de utilizar o modelo AERMOD View na verificação da distribuição espacial dos receptores, do alcance e distribuição das plumas de poluente, na estimativa das concentrações de poluentes emitidos e comparações entre concentrações de poluentes simulados e qualidade do ar.

A pluma de poluentes resultante da simulação de 24 horas apresentou perímetro aproximado de 30 km, se dispersando principalmente nas direções Nordeste (NE) e Sudoeste (SE), a identificação das áreas afetadas pela poluição atmosférica, através da subposição das isolinhas de concentração de poluentes na imagem aérea da região alvo da pesquisa.

A Vila Maria Helena e Parque Santa Lucia foram os locais afetados pela dispersão de poluentes atmosféricos simulados e não havia indícios dos efeitos da exposição ao material particulado, que eles estivessem associados a efeitos adversos à saúde respiratória.

Considera-se que o aumento da chaminé em 04 metros seja suficiente para a dispersão do material particulado, não afetando a população no entorno, visto a redução em 25% das concentrações, bem como, as ações sugeridas e incorporadas em dias de inversão térmica, proporcionaram menor impacto a população do entorno.

5 Agradecimentos

A Universidade Iguacu pela oportunidade desta pesquisa, através do Programa de Iniciação Científica, e a Empresa Alutech Alumínio LTDA por disponibilizar os dados para simulação.

6 Referências

AERMOD (2019) Description of model formulation. EPA- 454/R-03-004. 2004a. <http://www.epa.gov>. Acessado em 15 de fevereiro de 2019

Carvalho JR, Lacava PT (2003) Emissões em Processos de Combustão. Editora UNESP, São Paulo

CETESB (2001) Companhia Tecnológica De Saneamento Ambiental. 1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo, São Paulo

CONAMA (1990) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 3 de 28 de junho de 1990. http://www.ibram.df.gov.br/images/institucional/qualidade/resol_03.pdf. Acessado em 15 de fevereiro de 2019.

CONAMA (2006) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 382 de 26 de dezembro de 2006. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>. Acessado em 15 de fevereiro de 2019.

Conceição GMS et al (2001) Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. Revista Brasileira de Epidemiologia. 4(3):206-219

IBGE (2018). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/>. Acessado em 15 de fevereiro de 2019

Quiterio SL et al. (2005) Evaluation of levels, sources and distribution of airborne trace metals in seven districts of the Baixada Fluminense, Rio de Janeiro, Brazil. *Atmospheric Environment*. 35:3503– 3512

Ribeiro LE (1993) Aspectos estruturais da forma urbana: suas influências na concentração de poluentes atmosféricos e nos impactos receptivos – alternativas de planejamento urbano para o caso de São Paulo- SP. 1993. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Sicard et al. (2011) Air quality trends and potential health effects: development of an aggregate risk index. *Atmospheric Environment*. 45(5):1145-1153

Parede Diafragma com Tirante Provisório

Micheline Viviane Penha Marins¹; Carlos Eduardo Guarido²;

¹ Aluna Graduação Engenharia Civil- Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguazu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

² Professor Engenharia Civil -Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguazu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

mvpmengcivil@gmail.com, carlosguarido@globo.com

Resumo - *A necessidade de escavação de solos cada vez mais profundos em edificações vem tornando frequente o uso de paredes diafragma in loco, plástica e pré-fabricada por ser uma solução rápida, econômica, segura e eficaz. Esta técnica possibilita a escavação de solo, executando, para isto, uma parede de concreto armado, a partir da superfície do terreno, ao longo do perímetro da obra. O presente trabalho teve como objetivo definir critérios e procedimentos executivos necessários à implantação de parede diafragma e tirantes provisórios, para servir como contenção. O trabalho aborda as vantagens dos equipamentos de escavação como o Clamshell e a Hidrofresa, bem como as técnicas de escavação, tipos de armadura, concretagem em lamelas, metodologias de drenagem e comparação em relação as outras técnicas, bem como a utilização de tirantes provisórios para garantir a estabilidade do muro de contenção. A aplicação de dois métodos executivos, possibilitando fazer uma análise comparativa entre ambos na situação real de obra, a utilização dos tirantes provisórios e da finalização da obra reaterrada para ser entregue ao cliente.*

Palavras Chaves: *parede diafragma, altura de escavação, esforços solicitantes.*

Abstract - *The need for excavation of ever deeper underground basements in buildings has made the use of diaphragm walls in loco, plastic and prefabricated frequent because it is a fast, economical, safe and effective solution. This technique allows the excavation of soil, executing, for this, a reinforced concrete wall, from the surface of the land, along the perimeter of the work. The present work had as objective to define criteria and executive procedures necessary for the implantation of diaphragm wall and provisional ties, to serve as containment. The work addresses the advantages of excavation equipment such as Clamshell and Hidrofresa, as well as excavation techniques, types of reinforcement, layered concrete, drainage methodologies and comparison with other techniques, as well as the use of temporary tie rods for ensure the stability of the retaining wall. The application of two executive methods, making it possible to make a comparative analysis between both in the real situation of the work, the use of the temporary ties and the completion of the re-assembled work to be delivered to the client.*

Key Words: *diaphragm wall, excavation height, stresses.*

1 Introdução

O avanço tecnológico da construção industrializada trouxe mais agilidade ao processo de instalação das paredes-diafragma. Também agregou maior qualidade ao sistema, melhorando a segurança, o controle e reduzindo o emprego de mão de obra. Essa evolução, e outros benefícios

acrescentados pelas paredes-diafragma pré-fabricadas, são analisadas pelo engenheiro civil (Allen *et al.* 2009, Anson 2010).

Quando é relatado o assunto de parede diafragma surge a dúvida entre utilizar paredes diafragmas pré-fabricas em vez de paredes-diafragma construída no local da obra in loco, mediante esta dúvida este autor esclarece que a técnica de paredes-diafragma tem passado por constante inovações. A mais importante atualmente refere-se à utilização de painéis pré-moldados de concreto armado ou protendido (Antunes e Amaral 2016).

O painel pré-moldado pode ter um recobrimento menos – normalmente 3 centímetros – e concreto com fck (resistência) superior a 25 MPa. A parede pré-moldada tem um controle de qualidade mais fácil de ser executado, pois é feita antes da introdução na escavação. Desta forma, a resistência estrutural é substancialmente superior à da moldada em local, que por outro lado, tem um controle de qualidade e tecnológico mais difícil de ser acompanhado e demanda uma equipe maior para esta finalidade, principalmente junto à fiscalização. Além disso, a parede pré-moldada gera baixa perda de concreto, enquanto a moldada in loco tem muita perda, principalmente nas escavações onde existe solo de baixa resistência ou solo mole.

A tecnologia de execução de paredes-diafragma pré-moldada é utilizada em todo o mundo, porém no Brasil, apesar de termos uma defasagem de poucos anos em relação aos países desenvolvidos, onde esta técnica surgiu, estamos bem atualizados. Há, inclusive, empresas que possuem equipamentos modernos de fundação para esta finalidade. Porém, a complexidade para a execução de obras deste tipo é muito grande. Não são obras usuais e têm alto custo executivo. A geologia do terreno, o estudo de riscos e os custos com elaboração de cronogramas de obra é que influenciam na escolha desta técnica de execução.

Escavações profundas, cortes verticais e aterros de grandes dimensões são cada vez mais importantes para a implantação de empreendimentos, especialmente em áreas urbanas, onde há escassez de terrenos para construir. Isto torna a etapa de execução de paredes-diafragma pré-moldadas uma das mais críticas durante a execução da obra. Em função dos riscos que a movimentação de terra envolve, erros de dimensionamento, de projeto e de execução podem ser fatais, em função da grandeza de equipamentos e guindastes envolvidos na obra (Franki 2019).

Ao se optar pela construção de paredes-diafragma deve se levar em conta alguns fatores, como: local e acesso à obra; resultados de ensaios de laboratório de solos e rochas, interpretação do perfil geológico e geotécnico do terreno por meio de sondagens rotativas; tipo e tamanho dos terrenos e espaço físico da obra (GEOFIX 2019).

O objetivo desse trabalho foi definir critérios e procedimentos executivos necessários à implantação de parede diafragma e tirantes provisórios, para servir como contenção.

2 Metodologia

Parede diafragma com tirantes provisório

Utilizou-se desta metodologia em todo perímetro da obra, totalizando uma área de 2130 m³ de parede diafragma moldada in loco com espessura de 40 cm.

2.1 Lamelas

Foi projetada com espessura de 40 cm, com seu comprimento variando de 3,20 m a 5,10 m de escavação correspondendo ao perímetro do subsolo, dividido em painéis (chamado de lamelas) de 3,20 m que foram concretados de acordo com o planejamento de escavação e montagem das armações utilizadas.

2.2 Concreto e Armação

Especificado o uso de concreto usinado com a resistência de $f_{ck} \leq 30$ MPa (300Kg/cm^3) de concreto e *slump* teste de 220 ± 30 mm. Ferragem armada com CA 50 e CA 25 conforme diâmetros constantes do projeto, conforme NBR 7480:2007 e NBR 6152:1992.

2.3 Tirantes

Foram projetadas três linhas de tirantes provisórios. Totalizando-se 165 tirantes provisórios instalados no eixo de cada lamelas, com uma angulação de 25.

2.4 Lama bentonítica

A lama utilizada apresentava as características conforme descrito na norma NBR 6122:1996, a densidade deve ter de $1,025\text{g/cm}^3$ a $1,10\text{g/cm}^3$, sua viscosidade deve ter de 30 seg a 90 seg, o valor do pH entre 7 a 11, e o teor de areia até 3%.

2.5 Análise do projeto arquitetônico e do projeto de cargas

Para a definição do comprimento da parede diafragma foi considerada a profundidade em que se encontra um solo resistente, que foi em torno de 12 m de profundidade. Foi considerada também a necessidade de ser uma parede profunda para dificultar a percolação da água no terceiro subsolo, embora houve um sistema para drenar a água. Portanto, a parede diafragma teve que suportar esforços de empuxo da terra e água, e esforços verticais.

2.6 Cálculo dos esforços atuantes na parede

Para o cálculo do empuxo, foi utilizada a teoria da mecânica dos solos. O correto é colher amostras dos solos, para se realizar ensaios de laboratório, para se obter a resistência, o ângulo de atrito, o gama e a coesão. Entretanto, as empresas executoras não possuem tempo viável ou procuram economizar, portanto os calculistas recorrem às literaturas, que também garante segurança no empuxo.

2.7 Análise da sondagem

Cada camada de solo teve seu cálculo do empuxo ativo e empuxo da água, quando se está no nível da água. Ao final ocorre a somatória de todos os empuxos, para se obter um empuxo total. Com base neste empuxo total foi calculada a ferragem para a parede de diafragma. A ferragem poderia ser diferente para cada etapa do solo, ou seja, poderia ter uma ferragem mais leve no início da parede e uma ferragem mais pesada no final. Mas, para manter uma uniformidade e não correr o risco de inversão da ferragem no momento de posicionamento na lamela, padronizou-se uma ferragem única para toda a parede, baseada na somatória dos empuxos. A parede foi calculada como se fosse uma viga, analisado o momento em cada setor, e, com isso especificados também os tirantes.

2.8 Tirantes

Os tirantes utilizados neste projeto foram os do tipo provisórios. A função destes é suportar a força de empuxo da terra e água, após a total escavação da terra do terreno. Após a construção e travamento da parede de diafragma, os tirantes perdem a sua função. O ideal é que os tirantes ficassem em ângulo de vinte e cinco graus referente à parede. Primeiramente, pelo fato de os tirantes terem que ficar fora do ângulo de ruptura do solo (em torno de quinze a vinte por cento de inclinação), ou seja, sempre irão ficar em um ângulo menor que noventa graus. Eles não podem ser muito inclinados, senão a componente vertical da força carregaria a parede para baixo e a componente horizontal da força praticamente não existiria. Concluiu-se que seriam necessárias três linhas de tirantes ao longo da parede. A primeira linha com resistência de sessenta toneladas,

a segunda com oitenta toneladas e a terceira com doze toneladas. Percebeu-se que quanto mais profunda a parede, o diagrama de pressão foi maior. O tirante teve que estar ancorado em um solo relativamente firme. O primeiro tirante teve pelo menos 5 m de recobrimento em relação ao térreo. O bulbo de ancoragem é uma relação correspondente à carga que ele iria suportar, quanto mais carga ele suportará, maior deveria ser sua ancoragem.

3 Resultados

Inicialmente realizou-se a limpeza do terreno e instalações do canteiro de obra, com estrutura para vestiário, banheiros e refeitório. A construção de dois portões na obra facilitou o trânsito dos caminhões de terra e caminhões betoneiras, ambos com lava rodas, evitando o alastre de material para fora da área de trabalho.

Foi realizada a mureta guia no sistema de contra barranco, facilitando a execução e diminuindo assim o tempo para início da escavação. A figura 01 mostra o detalhamento da confecção da mureta guia em todo perímetro da área. A mureta teve a função de auxiliar o equipamento chamado *clam sheel* na escavação.



Figura 1- Confecção da mureta guia

Lama Bentonítica

Foi utilizada na execução, pois em sua composição há água e bentonita. A esta lama foi adicionado polímero, que misturado à água e argila adquire a mesma densidade do solo, possibilitando escavar até 80 m. O intuito foi impedir que a água do lençol freático não entrasse dentro no buraco de escavação, não misturando-se com a lama, dando resistência ao solo.

Escavação das lamelas

Foi realizada a escavação das lamelas de 3,20 m e 0,40 cm espessura até se fechar todo perímetro da obra, seguindo a numeração do projeto, facilitando a conferência e acompanhamento da execução. As lamelas foram escavadas e concretadas de duas em duas, aumentando o

rendimento da execução e reduzindo a emenda entre elas, além de amenizar possíveis patologias proveniente das juntas. As escavações variaram de acordo com o solo. Vale ressaltar que a estabilidade das escavações está diretamente relacionada à qualidade do *cake* formado pela lama bentonítica. No caso dos solos porosos é provável que a permeabilidade seja grande, uma vez em que há um índice de vazio elevado nesse tipo de solo. Dessa forma, o risco de desmoronamento é considerado alto, pois existe o aumento da pressão neutra dos fluidos infiltrados no solo o que, conseqüentemente, resulta num elevado consumo de concreto que irá penetrar nos vazios resultantes da falha do *cake* no decorrer do processo de escavação.

Colocação da Armadura

Para as paredes diafragmas, a armadura foi montada de forma prévia com uma estrutura rígida o suficiente para poder ser içada por um guindaste. Cada armadura precisou conter seis alças \varnothing 16 mm CA 50, das quais duas foram manipuladas no momento do içamento. Para tanto, foram utilizados para cobrir a armadura entre 7,5 cm a 10 cm, roletes (espaçadores circulares) de espessura de 5 cm e diâmetro de 16 cm. A depender da necessidade do projeto, foram amarrados na armadura no sentido de sua largura e intercalados nas duas faces, conforme figura 02.



Figura 02 - Posicionamento da Armadura

Chapa espelho e chapa junta

Após a escavação foi inserida a chapa junta para dar formato na emenda do concreto entre as lamelas. Foi inserida também a chapa espelho, evitando perda de concreto, e obtendo um acabamento na superfície de contato. Essas chapas foram fabricadas com tamanho máximo de 6 m. O posicionamento da chapa junta e chapa espelho são apresentadas na figura 03.



Figura 03 - Posicionamento da chapa espelho

Concretagem

Foi realizada a concretagem de todas as lamelas com o auxílio do tubo de tremonha. Para obtenção de um resultado satisfatório foi calculado o percentual de perda de concreto, evitando *overbreak*. As perdas variaram de 09 a 11 por cento, e este resultado satisfatório foi obtido na avaliação das concretagens. Foi analisada também a resistência do fck em laboratório conforme norma NBR 14931:2004, com o rompimento de amostras retiradas de todos os caminhões betoneiras lançados nas lamelas, obtendo o resultado dentro dos padrões determinados em projeto.

Execução da viga de coroamento

Foi executada em todo perímetro da obra uma cortina de concreto armado, em que esta estrutura foi construída na parte superior das lamelas, para servir de travamento em todo o perímetro da parede diafragma (vide figura 04).



Figura 04 - Arrasamento da viga de coroamento

Tirantes

A perfuração foi desenvolvida com sonda rotativa ou extratora para os trechos em concreto, e perfuratriz sobre esteiras quando o trecho perfurado foi em solo. A perfuratriz permitiu a realização de perfurações em qualquer ângulo e direção, com força e torque suficientes para a realização da perfuração no solo.

Para a perfuração do terreno, optou-se pelas perfuratrizes rotativas, cujo acionamento era feito por sistema hidráulico e um sistema de circulação de água.

Os tirantes foram executados de acordo com o nível de linhas estipuladas em projeto, divididas em três linhas, A (cota - 2,5 m), B (cota - 5,5 m) e C (cota - 8 m). Após a retirada do solo do trecho correspondente a linha, a perfuratriz fazia as perfurações dos tirantes dessa linha. Os furos das paredes foram feitos por perfuradores de concreto, com uma angulação de 25° estipulado em projeto. Posteriormente, iniciou-se a furação do solo com a perfuratriz. Os tirantes eram protendidos após três dias da última injeção da calda com Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), em decorrência da cura rápida do cimento.

Logo após a conclusão do posicionamento das cordoalhas no furo, iniciou-se à fase da injeção de calda de cimento, também denominada de bainha, dentro do furo, por gravidade. Esta aplicação foi feita por meio de hastes com obturador simples no interior dos tubos de injeção dos tirantes, alojando-o um pouco acima da última válvula. Inicialmente fez-se a injeção de água para remover qualquer detrito remanescente no interior do furo, e posteriormente injetou-se a calda de cimento.

Após um intervalo mínimo de dez horas da execução da bainha, iniciou-se a fase de injeção de calda de cimento com pressão monitorada. Esta fase foi chamada de injeção primária, executada com haste com obturador duplo, rompendo o anel de cimento da bainha e ocorrendo uma queda na pressão do manômetro. Os volumes aplicados da calda e a pressão de injeção garantiram a ancoragem adequada do tirante ao solo. Salienta-se que os critérios adotados para a injeção devem ser analisados e, se necessário, revisados ao longo da execução. Um boletim de cada tirante foi emitido no final da injeção.

4 Conclusões

Este estudo possibilitou um profundo aprendizado sobre o planejamento e gerenciamento de processos de contenção de solos por meio técnico de diafragma, por ser um método eficiente, embora ainda de custo elevado. O uso da lama bentonítica facilitou a execução da parede diafragma, em função das perdas e maior estabilidade nas lamelas e redução de outras. A parede diafragma moldada *in loco* com tirantes provisórios são estruturas com finalidade de conter o empuxo do solo tanto na vertical quanto na horizontal, permitindo suporte a escavação. Após este processo, a implementação dos tirantes provisórios, a ser desprotendido, foi efetuar o corte da cabeça do tirante, que após execução pode-se dar início ao reaterro da área. A escolha da parede foi a mais eficaz em termos de estabilidades do solo, devido as características do solo e por ser em campo aberto. O estudo do solo foi fundamental nas definições da técnica, considerando as construções das circunvizinhanças, profundidade do subsolo e cargas determinadas em projeto, garantindo a estabilidade da área. O sistema de parede diafragma pode ser executado na presença de água, evitando assim a descompressão do solo pelo rebaixamento do lençol freático, necessário em diversas técnicas. A técnica considera a avaliação e absorção de água nos vazios do solo, evitando o adensamento e posterior recalque da fundação, que pode comprometer a integridade das edificações vizinhas. O respeito às leis e diretrizes ambientais de trabalho, com o aproveitamento máximo de seus materiais, reaproveitamento da lama bentonítica e da água minimizou o impacto ao meio ambiente.

5 Referências

Alenn AG et al (2009) Influence of sources and meteorology on surface concentrations of gases and aerosols in a coastal industrial complex. *Journal of the Brazilian Chemical Society*.20:214-221

Anson (2010) *Paredes Diafragma e Estacas Escavadas - Catálogo São Paulo*

Antunes FRP, Amaral RC (2016) *Projeto e Execução de Parede Diafragma Atirantada*. UNIVAP

Franki (2019) Parede diafragma . <https://slidex.tips/download/parede-diafragma-1-historico> – Acessado em 02 de agosto de 2019

GEOFIX (2019). Parede diafragma Clamshell. <http://www.geofix.com.br/site2010/servicos/paredes-diafragma-clam-shell/>. Acessado em 21 de novembro de 2019

Geoprocessamento aplicado a monitoramento climático e identificação de ilhas de calor no município de nova Iguaçu/RJ

Amanda de Paiva Pimenta da Silva¹; Gisele Dornelles Pires²; Rafael João Sampaio²; Fabricio Polifke da Silva²

¹ Aluna do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil- Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

² Professor Engenharia Civil -Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

amandapaivapimenta@gmail.com, eng.gisele.pires@gmail.com, briciopolifke@gmail.com, samprafael@gmail.com

Resumo - *As mudanças climáticas vêm provocando alterações severas no clima das cidades de todo o mundo e trazendo, conseqüentemente, problemas sérios de infraestrutura e saúde para a população urbana. As altas temperaturas nos ambientes urbanos proporcionam muitos inconvenientes à população em virtude do calor excessivo que provoca, além de aumentar significativamente o consumo de energia, usada para funcionar vários aparelhos como o ar condicionado. A cidade é um grande modificador do clima. A camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais. A atividade humana, o grande número de veículos, indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes criam mudanças profundas na atmosfera local. A percepção das diferenças térmicas entre áreas urbanas e áreas rurais remonta a época dos romanos. Para atingir os objetivos propostos foram utilizadas sensoriamento remoto utilizando imagens do satélite Landsat 5, e Landsat 8. O presente estudo realizou o tratamento das imagens a fim de permitir análise termal da região. Na área urbana apresenta uma considerável variação espacial da temperatura da superfície na imagem, podendo identificar inicialmente diferenças que podem ser superiores a 20° C e com valores absolutos entre 20 °C e temperaturas acima de 40 °C.*

Palavras Chaves: sensoriamento remoto, geoprocessamento, ilhas de calor

Abstract - *Climate changes have been causing severe changes in the climate of cities around the world and, consequently, causing serious problems of infrastructure and health for the urban population. The high temperatures in urban environments provide many inconveniences to the population due to the excessive heat it causes, in addition to significantly increasing the consumption of energy, used to operate various devices such as air conditioning. The city is a great climate change. The layer of air closer to the ground and warmer in cities than in rural areas. Human activity, the large number of vehicles, industries, buildings, the asphalt of the streets and the decrease in green areas create profound changes in the local atmosphere. The perception of thermal differences between urban and rural areas dates back to Roman times. To achieve the proposed objectives, remote sensing using images from the Landsat 5 and Landsat 8 satellites was used. The present study carried out the treatment of the images in order to allow thermal analysis of the region. In the urban area it presents a considerable spatial variation of the surface temperature in the image, being able to initially identify differences that can be superior to 20° C and with absolute values between 20 °C and temperatures above 40 °C.*

Key Words: remote sensing, geoprocessing, heat islands

1 Introdução

A cidade é um grande modificador do clima. A camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais. A atividade humana, o grande número de veículos, indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes criam mudanças profundas na atmosfera local. A percepção das diferenças térmicas entre áreas urbanas e áreas rurais remonta à época dos romanos. Nas grandes cidades, faz mais calor e chove um pouco mais do que nas áreas rurais circunvizinhas. Também, são frequentes as enchentes após algumas chuvas, resultantes da impermeabilização do solo. Não é somente o calor do Sol e sua retenção pelo CO₂ e vapor d'água que aquecem uma cidade. Existe também a produção de calor. A cidade é um grande centro consumidor de energia, e toda vez que a mesma é utilizada, parte é liberada para o ambiente. Pode-se dizer que o calor é uma forma de lixo energético, um subproduto do uso da matéria e alimentos; porém, sob certo aspecto, o calor é pior, pois precisa ser dissipado no ambiente e não pode ser reciclado como muitos dos Componentes do lixo urbano produzido (Araujo, 2006 Apud em Ideao 2008).

O sensoriamento remoto tem sido utilizado em áreas urbanas para avaliar o fenômeno de “Ilha de Calor Urbano”, para realizar classificação de uso de solo e a cidade é um grande modificador do clima. A camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais. A atividade humana, o grande número de veículos, indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes criam mudanças profundas na atmosfera local. A percepção das diferenças térmicas entre áreas urbanas e áreas rurais remonta à época dos romanos. Nas grandes cidades, faz mais calor e chove um pouco mais do que nas áreas rurais circunvizinhas. Também, são frequentes as enchentes após algumas chuvas, resultantes da impermeabilização do solo. Não é somente o calor do Sol e sua retenção pelo CO₂ e vapor d'água que aquecem uma cidade. Existe também a produção de calor. A cidade é um grande centro consumidor de energia, e toda vez que a mesma é utilizada, parte é liberada para o ambiente. Pode-se dizer que o calor é uma forma de lixo energético, um subproduto do uso da matéria e alimentos; porém, sob certo aspecto, o calor é pior, pois precisa ser dissipado no ambiente e não pode ser reciclado como muitos dos Componentes do lixo urbano produzido (Araujo, 2006 Apud em Ideao 2008).

O sensoriamento remoto tem sido utilizado em áreas urbanas para avaliar o fenômeno de “Ilha de Calor Urbano”, para realizar classificação de uso de solo e também para fornecer dados de entrada para modelos de trocas atmosféricas e de superfície urbana (Voogt & Oke, 2003). Essa tecnologia é utilizada nos centros urbanos, pois os mesmos são grandes modificadores do clima.

As ilhas de calor são percebidas em ambientes urbanos devido aos diferentes padrões de refletividade dos vários materiais. Refletividade é a razão entre a energia eletromagnética refletida por um objeto ou material e a energia eletromagnética total incidente nele. A energia que não é refletida tende a ser absorvida pelo material (quando não é transmitida através do mesmo). A energia absorvida é, então, reemitida na forma de ondas com maior comprimento de onda. Assim, bons refletores são maus absorvedores e, por conseguinte, maus emissores, sendo que o contrário também é válido. Contribui ainda para o fenômeno o fato de as edificações urbanas serem formadas por materiais com baixa condutibilidade térmica, terem cores escuras (i.e., que são más refletoras) e terem elevados gabaritos, o que dificulta a dispersão da energia térmica. A Figura 1 mostra os principais materiais utilizados em centros urbanos e sua refletividade. Para fornecer dados de entrada para modelos de trocas atmosféricas e de superfície urbana (Voogt & Oke, 2003).

Essa tecnologia é utilizada nos centros urbanos, pois os mesmos são grandes modificadores do clima.

As ilhas de calor são percebidas em ambientes urbanos devido aos diferentes padrões de refletividade dos vários materiais. Refletividade é a razão entre a energia eletromagnética refletida por um objeto ou material e a energia eletromagnética total incidente nele. A energia que não é refletida tende a ser absorvida pelo material (quando não é transmitida através do mesmo). A energia absorvida é, então, reemitida na forma de ondas com maior comprimento de onda. Assim, bons refletores são maus absorvedores e, por conseguinte, maus emissores, sendo que o contrário também é válido. Contribui ainda para o fenômeno o fato de as edificações urbanas serem formadas por materiais com baixa condutibilidade térmica, terem cores escuras (i.e., que são más refletoras) e terem elevados gabaritos, o que dificulta a dispersão da energia térmica. A Figura 1 mostra os principais materiais utilizados em centros urbanos e sua refletividade.

2 Objetivos

Este trabalho tem por finalidade estimar e analisar através das imagens do Thematic Mapper abordo do satélite ambiental Landsat 5, a temperatura de superfície para a Cidade de Nova Iguaçu. Aplicar o modelo de Marlet, 1985 e o algoritmo baseado no SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) para obter a temperatura de superfície, e assim confeccionar mapas da temperatura, pretendendo assim, contribuir para futuros estudos relacionados ao clima nos centros urbanos da Cidade Nova Iguaçu/Rio de Janeiro.

Aquisição das imagens a ser realizada no sítio do United States Geological Survey de imagens orbitais do satélite Landsat 8 escolheu-se este satélite porque o mesmo é o mais recente da série Landsat, com imagens atuais do ano. Swreo das etapas a serem desenvolvidas cpnstou: Determinadar as coordenadas geográficas do município; Escolher e obter uma imagem diurna para cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera) do período de 2004 e 2017/2018, com a menor cobertura por nuvens (inferior a 20%) para não interferir no mapeamento das temperaturas de superfície, totalizando várias cenas relativas as datas a serem definidas); Comparar a ocorrência de ilhas de calor conforme as variações sazonais de temperatura no decorrer do ano; Aplicar de técnicas de SIG e sensoriamento remoto; Re projetadas para a Projeção/Datum WGS1984 UTM Zona 23S, uma vez que corresponde à projeção do local onde será realizado o estudo; Recorta as imagens infravermelha termais (banda 10) na área desejada, correspondente e finalmente Inserir dados no Sistema de Informação Geográfica Hydrogis.

3 Material e métodos

3.1 Material

A Figura 1 Imagem Lansat 8 B 10 e a Figura 2 propriedade da imagem Landsat Banda 10 são apresentadas a seguir.

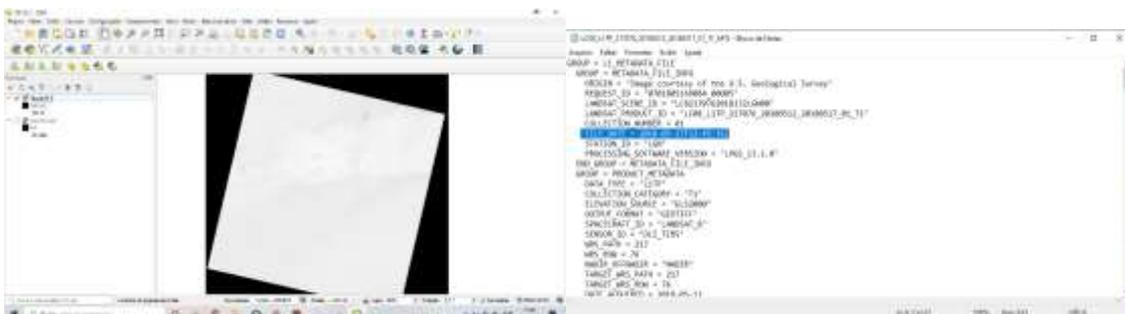


Figura 1 - Imagem Lansat 8 B 10.

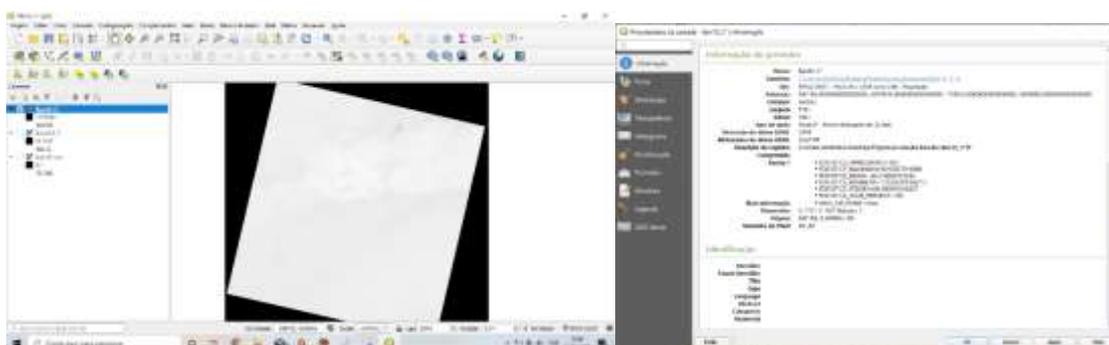


Figura 2 - 2 propriedade da imagem Landsat Banda 10.

3.2 Métodos

Para atingir os objetivos propostos foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, banda 10, do canal infravermelho termal/TIRS 1, com resolução espectral de 10.6 - 11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, mas tratadas e disponibilizadas com pixel de 30 metros pela United States Geological Survey (USGS)¹. As imagens do satélite Landsat 8, banda 10, disponíveis no período de fevereiro de 2018, e sem cobertura de nuvens, foram tratadas e 2 cenas. Na primeira etapa do trabalho foi utilizada a imagem:

3.3 Aquisição das Imagens

Para a realização desta pesquisa, adotaram-se as imagens dos satélites Landsat 5 e 8, pelo fato desses dois satélites apresentarem a banda termal e atenderem ao recorte temporal aqui delimitado. A partir disto, foram gerados mapas de temperatura de superfície do ano de 2004, baseados nas imagens da banda termal do satélite Landsat 5 (banda 6), e outro mapa, em 2014, recorrendo ao Landsat 8 (banda 10). As imagens do Landsat 5 foram adquiridas através da homepage¹ do USGS (U.S. Geological Survey) de onde foram importadas as bandas 3, 4, 5 e 6. Do mesmo site, foram extraídas as imagens do Landsat 8 nas suas bandas 3, 4, 5 e 10.

```
GROUP = FILE_HEADER
```

```
LANDSAT_SCENE_ID = "LC82170762018132LGN00"
```

```
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"NUMBER_OF_BANDS = 11
```

```
BAND_LIST = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
```

Obtida no site <https://earthexplorer.usgs.gov/>, utilizamos as bandas 10 e 11, a princípio. Em seguida a imagem foi trabalhada no programa Q-Gis versão 3.8.3-Zanzibar; começamos com a fórmula $L\lambda = ML * Qcal + AL$, para a conversão de números digitais (ND) para radiância espectral no topo da atmosfera ($L\lambda$).

Com a banda de radiância pronta, utilizamos a seguinte fórmula: $Trad = ((K2/\ln((K1/L\lambda)+1))-273,15)$, com isso conseguimos a última banda, a banda termal. Dentre as bandas 10 e 11, escolhemos a 10 por motivo de maior compatibilidade.

3.4 Tratamento das Imagens

Após a coleta das cenas do satélite na homepage da USGS, iniciou-se seu tratamento das Imagens no software Qgis 3.0, realizando a importação das bandas 3, 4, 5 e 6 e as bandas 3, 4, 5 e 10 respectivamente do Landsat 8, através de plugin instalado. Uma vez importadas as imagens, fez-se a composição colorida (falsa cor) R,G,B.

4 Resultados preliminares

O presente trabalho obteve a temperatura da superfície estimada com base nos dados do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5 comparando as diferentes classes de uso e ocupação do solo urbano de Nova Iguaçu. Criando a correlação entre as classes de cobertura de solo no perímetro urbano e suas respectivas áreas com oito diferentes grupos de temperatura que foram criados, a fim de caracterizar o comportamento térmico de cada tipo de cobertura.

Por meio do cálculo da área de cada classe, poderá verificar, que a classe predominante no perímetro urbano foi a "edificações", seguida pelas classes "pavimentada-vegetação", "pavimentada-edificação", "vegetação", e "edificada-vegetação". A distribuição das diferentes classes pode ser explicada pela maneira foi projetada e desenvolveu-se o município de Nova Iguaçu. Notou-se, também, que a área urbana apresenta uma considerável variação espacial da temperatura da superfície, com diferenças que podem ser superiores a 20° C e com valores absolutos entre 20 °C e temperaturas acima de 40 °C. A distribuição espacial dos oito grupos de valores de temperatura da superfície na área urbana será apresentada no relatório final.

Com a imagem `GROUP = FILE_HEADER`

`LANDSAT_SCENE_ID = "LC82170762018132LGN00"`

`SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"`

`NUMBER_OF_BANDS = 11`

`BAND_LIST = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)` obtida no site <https://earthexplorer.usgs.gov/>, foi possível avaliar os pontos com maior índice de calor no município de Nova Iguaçu – RJ.

Observou-se nas Figuras 3, 4 e 5, que houve um aumento gradativo das temperaturas no ano 2018, em alguns pontos dos mapas, descritos a seguir: Em sua Grande maioria áreas no perímetro urbano da Região.

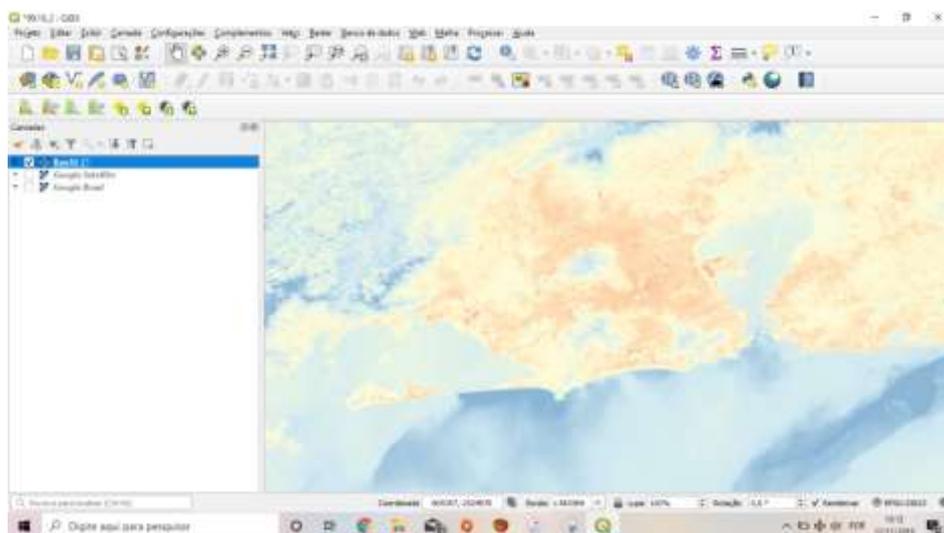


Figura 3 - Imagem Landsat 8 tratada

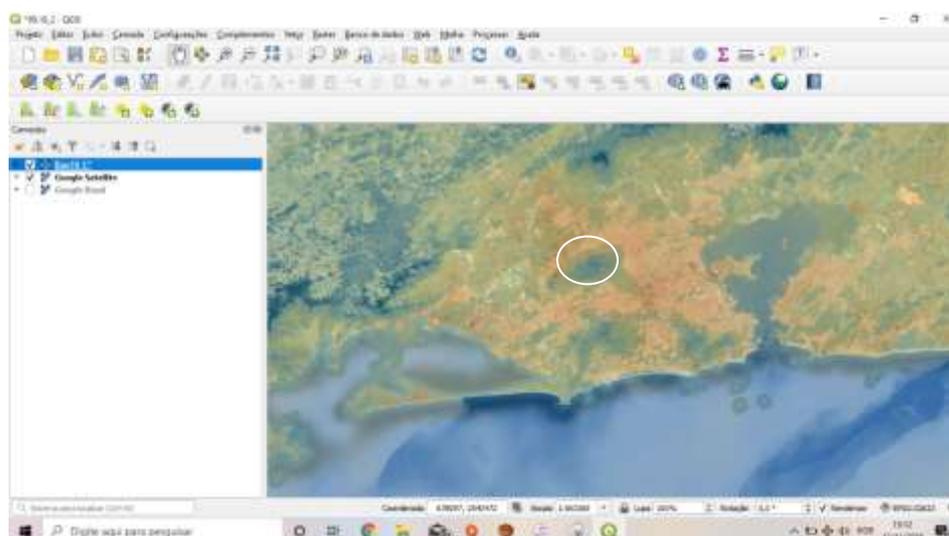


Figura 4 - Imagem Landsat 8 tratada

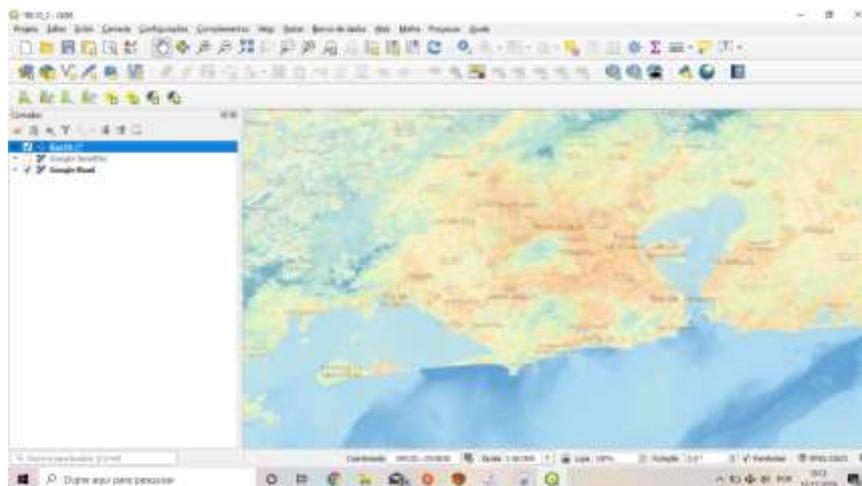


Figura 5 - Imagem Landsat 8 tratada x Google satélite

5 Considerações finais

As mudanças climáticas vêm provocando alterações severas no clima das cidades de todo o mundo e trazendo, conseqüentemente, problemas sérios de infraestrutura e saúde para a população urbana. As altas temperaturas nos ambientes urbanos proporcionam muitos inconvenientes em virtude do calor excessivo que provoca, nas populações mais vulneráveis, como crianças, idosos e aqueles com problemas de saúde existentes, estão particularmente em risco nesses eventos. Episódios de calor excessivo, ou o aumento da temperatura abrupta são particularmente perigosos e podem resultar em taxas de mortalidade acima da média nas cidades. Desenvolver e utilizar técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento permitiram melhor entendimentos dos fenômenos.

6 Referências

- Allen RG, Allen M, Morse A, Trezza A (2005) Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and Drainage Systems* 19:251-268
- Allen RG, Tasumi M, Trezza R (2002) *Surface Energy Balance Algorithms for Land*. Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0.
- Allen RG, Tasumi M, Trezza R (2007) Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evatranspiration with Internalized Calibration (METRIC)-Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 380-397
- Araujo LT (2006) Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/LA_DSAT. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas
- Bastiaassen WGM (1995) Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Tese de Doutorado, Wageningen Agricultural University
- Chander G, Markham B (2003) Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens* 2674–2677

Folhes MT (2007) Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos. Tese Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

INPE (2020) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://www.dpi.inpe.br>; Acessado em março de 2020.

Lima CO, Barbosa MPL, Vera LAS, Miguel J (2001) Uso de imagens TM/Landsat-5 e termometria na identificação e mapeamento de solos afetados por sais na região de Sousa, PB. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 5(2):361-363

Lui WTF (2007) Aplicações de Sensoriamento Remoto. Ed. UNIDERP

Lombardo MA (1985) Ilha de Calor nas Metrôpoles. Ed.Hucitec, Sao Paulo

Malaret E, Bartolucci LA, Lozano DF, Anuta PE, Mcgillum CD (1985) Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis In:Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 51:1407-1416

Marinho LS (2006) Abastecimento d'água em pequenos aglomerados urbanos do estado da Paraíba. Dissertação de Mestrado, UFPB/CT

Mariz M, Elvis B et al. (2017) O modelo Sebal para estudos de clima intraurbano: Aplicação em Recife, Rernambuco, Brasil. Espaço Geográfico em Análise 39:247-265

Meirelles M (2007) Estimativa da evaporação real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem landsat 5-TM na Bacia do Acaraú – CE. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceara

Mendonça JC (2007) Estimação da Evapotranspiração Regional Utilizando Imagens Digitais Orbitais na Região Norte Fluminense, (Tese Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Nichol JE (1996) High-Resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study. Journal of Applied Meteorology. 35:135-146

Voogt JA, Oke TR (2003) Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environmet. 86:370-384

Weligepolage K (2005) Estimation of spatial and temporal distribution of evaporatranspiration by satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek, The Netherland. Dissertação de Mestrado, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation

Weng Q, Quattrochi DA (2006) Thermal remotesensing of urban areas: An introduction to the special issue. Remote Sensing of Environment 104:119–122

Weng Q, Dengsheng L, Schubring J (2004) Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment 66(23):467– 483

Análise da sensibilidade do modelo WRF em diferentes esquemas de parametrização de Cúmulos para um evento de chuva extrema ocorrido na cidade de Nova Iguaçu

Daniela Dantas da Silva¹; Gleison Rodrigues da Silva¹; Fabricio Polifke da Silva¹; Gisele Dornelles Pires¹; Carlos Eduardo Moreira Guarido¹

¹Alunos do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil-¹Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

¹Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu - RJ

danieladsilva2010@hotmail.com, gleisonro2012@gmail.com, briecipolifke@gmail.com.
eng.gisele.pires@gmail.com, carlosguarido@globo.com

Resumo – *As simulações e previsões numéricas de eventos extremos de precipitação se apresentam como ferramentas essenciais para o gerenciamento de riscos e mitigação dos possíveis danos associados. Neste contexto, verifica-se a necessidade de avaliações destas simulações e previsões na escala local de forma a compreender as suas eficiências, assim como possíveis deficiências. Este trabalho utilizou as saídas do modelo numérico Weather Research and Forecasting (WRF) em diferentes condições de parametrizações de Cúmulos e domínios de grade para avaliar a precipitação simulada pelo modelo WRF durante um evento de chuva extrema ocorrido na cidade de Nova Iguaçu. Os resultados mostraram que o esquema de Cúmulos 4 para o primeiro domínio de grade apresentou o menor erro para a estação Catavento. Para a estação GBM Nova Iguaçu, entretanto, verificou-se que todas as parametrizações subestimaram a chuva, com um menor erro foi observado para o esquema de Cúmulos 1 e para o terceiro domínio. Tais características corroboram o grande desafio associado à simulação numérica da precipitação e mostram a necessidade de estudos contínuos visando fornecer subsídios que possam com uma maior assertividade fornecer previsões mais acuradas, principalmente visando o seu uso pelos tomadores de decisão.*

Palavras-chave: Chuva, WRF, parametrizações

Abstract – *Numerical extreme precipitation simulations and forecast events are essential tools for risk management and mitigation of possible associated damage. In this context, there is a need for evaluations of these simulations and forecasts at the local scale in order to understand their efficiencies, as well as possible deficiencies. This work used the outputs of the numerical model Weather Research and Forecasting (WRF) in different conditions of parameterization of Cumulus and grid domains to evaluate the rainfall simulated by the WRF model during an extreme rain event that occurred in the city of Nova Iguaçu. The results showed that the Cumulus 4 scheme for the first grid domain showed the smallest error for the Catavento station. For GBM Nova Iguaçu station, however, it was found that all parameterizations underestimated the rain, with a smaller error being observed for the Cumulus 1 scheme and for the third domain. Such characteristics corroborate the great challenge associated with the numerical simulation of precipitation and show the need for continuous studies aiming at providing subsidies that can with greater assertiveness provide more accurate predictions, mainly aiming at its use by decision makers.*

Keywords: Rainfall, WRF, parametrizations

1 Introdução

Molinari e Dudek (1992) relatam que a precipitação é um dos parâmetros meteorológicos mais importantes nas regiões tropicais e difíceis de ser simulados nos modelos numéricos da atmosfera. Para Saulo *et al.* (2001) os processos que dão origem à precipitação são melhor representados pelos modelos numéricos regionais, com maiores resoluções e parametrização de convecção adequados. Rodrigues (2014) corrobora que a topografia representa uma fonte de perturbações e deformações dos escoamentos atmosféricos, apresentando forte influência sobre a distribuição e intensificação das chuvas o que dificulta a capacidade dos modelos numéricos de previsão da precipitação. No Brasil, Bender *et al.* (2011) avaliaram as previsões geradas pelo modelo operacional WRF instalado no IAG/USP em três grades aninhadas, para um evento de extremo de precipitação para o estado de São Paulo, que ocorreu no dia 28/02/2011. Os autores verificaram que o modelo conseguiu prever a ocorrência da precipitação, porém não com a intensidade e local em que esta foi observada, caracterizando a necessidade de calibrações regionais e estudos estatísticos que visem o melhor desempenho de modelo.

Espinosa (2011) corrobora que a simulação da precipitação através da modelagem numérica, dentro do conjunto das variáveis meteorológicas, se apresenta como a mais desafiadora a ser prevista com precisão através dos diversos modelos numéricos. Dentre os motivos associados a tal comportamento, a autora ressalta o comportamento altamente variável no espaço e no tempo, além da descontinuidade espacial e temporal da precipitação como um dos principais motivos da sua incerteza através dos modelos numéricos. Além disso, os mecanismos que controlam a formação da precipitação em cada região podem ser diferentes, dependendo da época do ano, caracterizando a necessidade de calibrações regionais e avaliações locais dos modelos de análise e previsão numérica do tempo, com ênfase à previsão da precipitação (Silva 2019).

2 Metodologia

A cidade de Nova Iguaçu localiza-se na região da Baixada Fluminense e ocupa uma área de 523,888 km² (Figura 1). Utilizando os dados das estações Catavento e GBM Nova Iguaçu da rede telemétrica do Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente (INEA 2020) localizadas na cidade de Nova Iguaçu (Figura 1), Costa *et al.* (2018) utilizando o limiar de chuvas acima de 100 mm/dia identificaram a ocorrência de seis eventos extremos de precipitação entre 2008 e 2018 sobre a cidade. O de chuva ocorrido em 03 de janeiro de 2013 foi inicialmente analisado por apresentar o maior acumulado de chuva registrado, com valores de aproximadamente 197 mm na estação GBM Nova Iguaçu e 45 mm na estação Catavento.

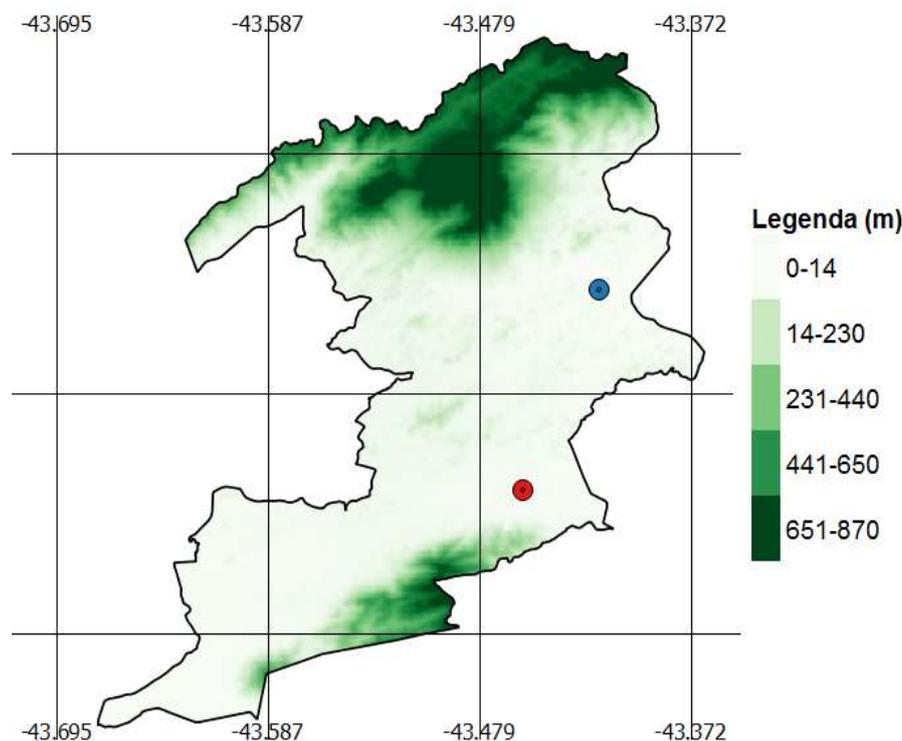


Figura 1- Perfil de elevação da cidade de Nova Iguaçu e estações Catavento (azul) e GBM Nova Iguaçu (vermelho) do Sistema de Alerta de Cheias do INEA (Fonte: Costa *et al.* 2018).

Neste trabalho foi utilizado o modelo numérico Weather, Research and Forecasting (WRF) por ser considerado um modelo de previsão numérica da próxima geração, pois além de ser flexível quanto a sua instalação e configuração física e numérica, pode ser utilizado em diversas escalas que podem ir de apenas alguns metros até milhares de quilômetros e pode atender a finalidades do tipo: Simulações idealizadas (convecção, ondas baroclínicas, etc.), pesquisa de parametrizações, pesquisa de assimilação de dados, pesquisa em previsão de tempo, acoplamentos entre modelos de aplicações diferentes (tempo-ondas, tempo-poluição, etc.) e ensino. O WRF tem uma crescente comunidade de usuários, e é usado operacionalmente por vários centros, inclusive o NCEP. A versão do WRF usada neste trabalho é a ARW 8.0 e usa o módulo WRF *Pre-Processing System* (WPS) para o pré-processamento.

Foram realizadas quatro simulações do modelo WRF variando as parametrizações de Cúmulos (Tabela 1) para um evento de chuva extrema ocorrido em 03 de janeiro de 2013 na cidade de Nova Iguaçu, conforme encontrado em Costa *et al.* (2018). O objetivo deste trabalho é verificar qual conjunto de parametrização representaria qualitativamente e quantitativamente a chuva em comparação com os dados observados de precipitação coletados na cidade de Nova Iguaçu durante o evento de chuva extrema ocorrido. As demais parametrizações (default) do modelo WRF foram constantes durante as simulações. Sendo elas: o Modelo de Transferência Radiativa Rápida para radiação de ondas longas (Mlawer et al. 1997), o esquema de radiação de onda curta Dudhia (Dudhia 1989), o esquema de microfísica de 3 momentos WRF (Hong et al. 2004), O esquema de parametrização do cumulus de Kain-Fritsch (Kain 2004), o modelo unificado de superfície terrestre Noah (Tewari et al. 2004), o MM5 revisado Monin-Obuckov (Jimenez et al. 2012) para camada superficial e o limite planetário da Universidade Yon-Sei Esquema de parametrização de camadas (Hong et al. 2006).

Tabela 1 - Esquemas de Parametrização de Cúmulos

Opção	Esquema de Cúmulos	Referencial Teórico
1	Kain–Fritsch	Kain (2004)
2	Betts–Miller–Janjić	Janjić (1994)
3	Grell–Freitas Ensemble	Grell e Freitas (2014)
4	Old Simplified Arakawa–Schubert	Pan e Wu (1995)

As condições de contorno inicial e lateral utilizadas para a realização das simulações utilizando o modelo WRF foram obtidas através das análises do Global Forecast System (GSF, <http://www.emc.ncep.noaa.gov/GSF/doc.php>) com intervalos de seis horas e resolução horizontal de 0,50° x 0,50°. Para a avaliação da precipitação foram realizadas simulações começando 72 horas, 48 horas e 24 horas antecedentes ao dia 03/01/2013 e terminando às 22h00 do dia 04/01/2013 com a finalidade de caracterizar o desempenho do modelo quando submetido a diferentes condições temporais de inicialização. O modelo foi também configurado com um total de três domínios e hierarquias de grade WRF modeladas com resoluções de domínio horizontal de 27 km (d01), 09 km (d02) e 03 km (d03), respectivamente (Figura 2), conforme realizado em Silva *et al.* (2019).

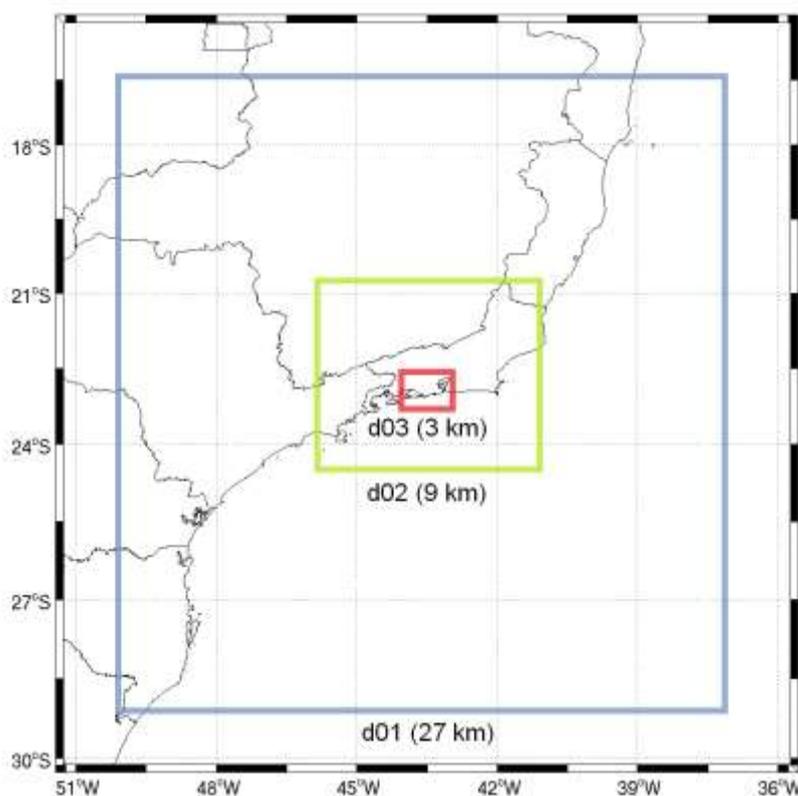


Figura 2 – Domínios da grade utilizada nas simulações com o modelo WRF (Fonte: Silva *et al.* 2019).

3 Resultados

Uma análise qualitativa da evolução temporal da precipitação simulada pelo modelo WRF e observada nas estações Catavento e GBM Nova Iguaçu são mostradas nas Figuras 3 e 4. A linha em preto caracteriza a chuva observada, as linhas em azul, verde e laranja caracterizam os domínios 1, 2 e 3m respectivamente. Verificou-se, em geral, um grande espalhamento das simulações da precipitação para ambos os pontos de grade à medida que o modelo avançou na integração das equações matemáticas representativas das parametrizações. Para a estação Catavento (Figura 3), verifica-se que, a precipitação acumulada simulada nos domínios 1 e 2 esteve qualitativamente mais próxima da chuva observada. Para a estação GBM Nova Iguaçu (Figura 4), verifica-se que, a precipitação acumulada simulada no domínio 3 apresentou qualitativamente um melhor resultado.

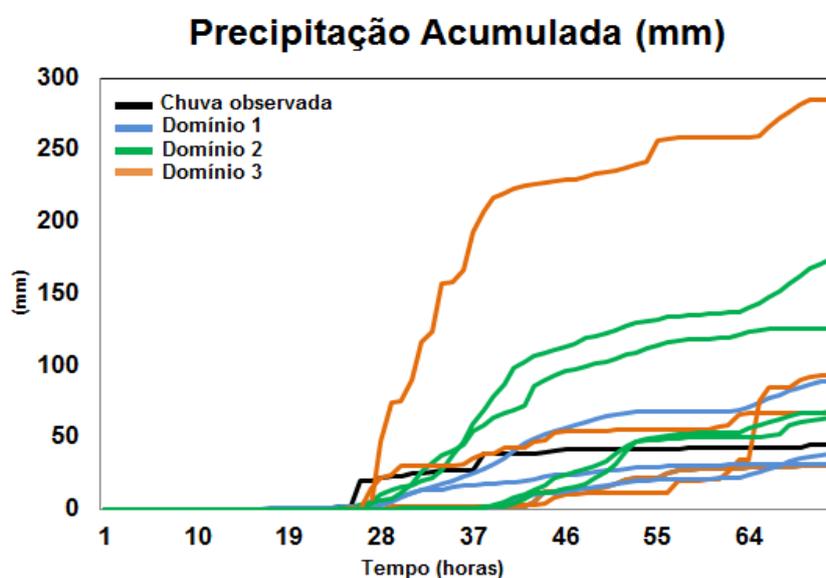


Figura 3 – Chuva simulada pelo modelo numérico WRF para a estação Catavento.

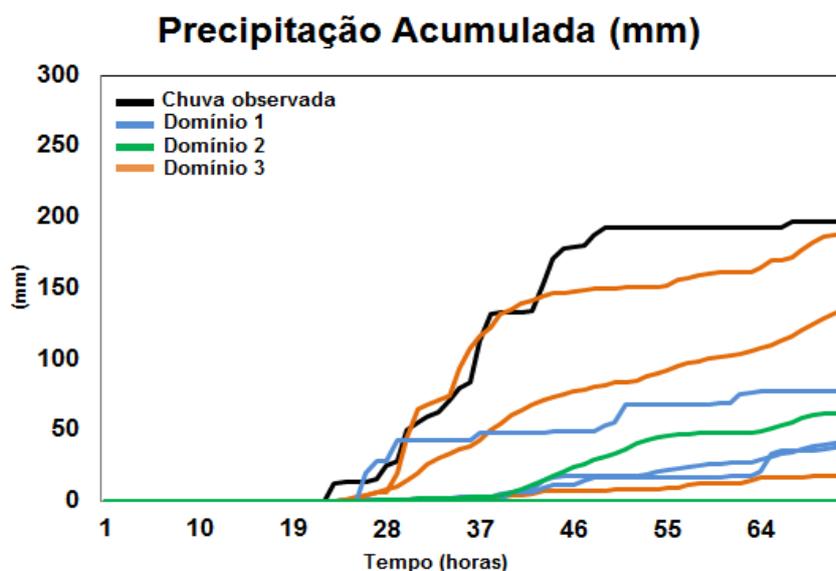


Figura 4 – Chuva simulada pelo modelo numérico WRF para a estação GBM Nova Iguaçu.

Uma análise quantitativa é para cada domínio de grade de simulação, assim como para cada estação de chuva utilizada é mostrada nas Tabelas 2 a 3, onde podem ser observados os resultados da precipitação simulada acumulada pelo modelo WRF e os resultados da diferença entre a simulação do modelo e os valores observados. Nestas tabelas as cores em azul indicam que o modelo superestimou a precipitação e em laranja que o modelo subestimou a precipitação. A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à estação Catavento e a Tabela 3 os resultados referentes à estação GBM Nova Iguaçu. É possível observar que para a estação Catavento (Tabela 2) o modelo tendeu a superestimar e subestimar a precipitação dependendo do esquema de Cúmulos utilizado. Através de uma análise comparativa verifica-se que o esquema de Cúmulos 4 para o primeiro domínio apresentou o menor erro (-5,7 mm). Para a estação GBM Nova Iguaçu, verifica-se que todas as parametrizações subestimaram a chuva. Entretanto, um menor erro foi observado para o esquema de Cúmulos 1 para o terceiro domínio (-8,7 mm). Tais características corroboram o grande desafio associado à simulação numérica da precipitação assim como a sua avaliação pontual, caracterizando a importância da previsão por conjuntos visando quantificar as incertezas associadas e obter, conseqüentemente, cenários mais próximos da realidade, isto é, dos dados observados.

Tabela 2 – Precipitação acumulada pelo modelo WRF para a estação Catavento durante o período de simulação

Parametrização	Domínio 1	Domínio 2	Domínio 3	Domínio 1 (Diferença)	Domínio 2 (Diferença)	Domínio 3 (Diferença)
Cúmulos 1	89,7	173,8	284,7	44,9	129,0	239,9
Cúmulos 2	30,5	30,5	93,2	-14,3	-14,3	48,4
Cúmulos 3	32,2	126,3	67,4	-12,6	81,5	22,6
Cúmulos 4	39,1	68,3	64,4	-5,7	23,5	19,6

Tabela 3 – Precipitação acumulada pelo modelo WRF para a estação GBM Nova Iguaçu durante o período de simulação

Parametrização	Domínio 1	Domínio 2	Domínio 3	Domínio 1 (Diferença)	Domínio 2 (Diferença)	Domínio 3 (Diferença)
Cúmulos 1	0,0	135,8	188,3	-197,0	-61,2	-8,7
Cúmulos 2	0,0	17,8	37,6	-197,0	-179,2	-159,4
Cúmulos 3	0,0	126,3	77,3	-197,0	-70,7	-119,7
Cúmulos 4	0,0	68,3	41,9	-197,0	-128,8	-155,1

4 Conclusões

A ocorrência de altos acumulados pluviométricos, também chamados de eventos extremos de chuvas pode desencadear a ocorrência de inúmeros danos econômicos e sociais, até mesmo, nos casos mais extremos, perda de vidas. Neste contexto, pesquisas científicas que visem o aprimoramento regional da modelagem numérica da precipitação pode favorecer um conhecimento mais detalhado das suas eficiências, assim como deficiências, em funções dos

diferentes sistemas meteorológicos associados, assim como aos esquemas de parametrização e domínios de simulação. Neste trabalho foram realizadas as simulações da precipitação para um evento de chuva ocorrido na cidade de Nova Iguaçu em diferentes grades espaciais e diferentes esquemas de parametrização utilizando o modelo numérico WRF. Através de uma análise comparativa verifica-se que o esquema de Cúmulos 4 para o primeiro domínio apresentou o menor erro. Para a estação GBM Nova Iguaçu, entretanto, verificou-se que todas as parametrizações subestimaram a chuva, com um menor erro foi observado para o esquema de Cúmulos 1 e para o terceiro domínio. Tais características corroboram o grande desafio associado à simulação numérica da precipitação assim como a sua avaliação pontual, caracterizando a importância da previsão por conjuntos visando quantificar as incertezas associadas e obter, conseqüentemente, cenários mais próximos da realidade, isto é, dos dados observados.

5 Referências Bibliográficas

- Bender FD, Santos FD, Yonue RT (2011) Análise da ocorrência de um evento de precipitação extrema em São Paulo com o Modelo Operacional WRF em três grades aninhadas. In Anais IV Simpósio Internacional de Climatologia. 2011, João Pessoa, Paraíba. Sociedade Brasileira de Meteorologia
- Costa WP, Silva GR, Silva FP, Pires GD, Sampaio RF (2018) Eventos extremos de precipitação na cidade de Nova Iguaçu: Identificação e estimativa por radar. Rev Eng, Meio Amb e Inov 1:21-27
- Dudhia J (1989) Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. J Atmos Sci 46:3077–3107
- Grell GA, Freitas SR (2014) A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling. Atmospheric Chemistry and Physics 14(10): 5233–5250
- Hong S-Y, Dudhia J, Chen S-H (2004) A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. Mon Weather Rev 132:103–120
- Hong SY, Noh Y, Dudhia J (2006) A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Mon Weather Rev 134:2318–2341
- Janjic ZI (1994) The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. Monthly Weather Review 122(5):927–945 DOI: 10.1175/1520-0493(1994)122<0927:TSMECM>2.0.CO;2.
- Jiménez PA, Dudhia J, González-Rouco JF, Navarro J, Montávez JP, García-Bustamante E (2012) A revised scheme for the WRF surface layer formulation. Mon Weather Rev 140:898–918
- Kain JS (2004) The Kain-Fritsch convective parameterization: na update. J Appl Meteor 43:170–181
- Mlawer EJ, Taubman SJ, Brown PD, Iacono MJ, Clough SA (1997) Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. J Geophys Res 102:16663–16682
- Molinari JE, Dudek M (1992) Parameterization of convective precipitation in mesoscale numerical models: A critical review. Mon. Wea. Rev. 120: 326-344
- Pan HK, WU WS (1995). Implementing a mass flux convective parameterization package for the NMC medium-range forecast model: NCEP office note. Silver Spring: National Centers for

Environmental Prediction (U.S.), 1995. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/11429>>. Acessado em 10 de abril de 2020

Rodrigues LB, Teixeira AL, Moura FM, Sales MCL (2012) Padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação: o caso do dia 27 de março de 2012, Fortaleza, CE, Brasil. *Revista Geonorte da Universidade Federal do Amazonas* 1(5):1129-1140

Saulo AC, Seluchi M, Campetell C, Ferreira L (2001) Error evaluation of NCEP and LAHM regional model daily forecasts over Southern South America. *Weather and Forecasting* 16, 697–712.

Silva FP (2019) Previsão de tempestades severas e de transbordamentos no rio Quitandinha – Petrópolis/J, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Silva Dantas, Silva GP, Silva FP, Pires GP (2019) Análise da precipitação simulada pelo modelo WRF durante evento de chuvas extremas ocorridos na cidade de Nova Iguaçu *Rev Eng, Meio Amb e Inov* 3(1):87-93

Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda M, Huang XY, Wang W, Powers JG (2008) A description of the advanced research WRF version 3. Tech. Rep. TN-475+STR, NCAR

Tewari M, Chen F, Wang W, Dudhia J, LeMone M, Mitchell K, Ek M, Gayno G, Weigel J, Cuenca R (2004) Implementation and verification of the unified Noah land surface model in the WRF model. In: 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction, pp 11–15

Análise hidrometeorológica da chuva observada na área de contribuição do rio Pavuna em eventos passados de transbordamento

Marcelo Negreiros de Araújo Junior¹; Larissa Mylena Santos Paulo¹; Fabricio Polifke da Silva¹; Gisele Dornelles Pires¹; Carlos Eduardo Moreira Guarido¹

¹ Alunos do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguazu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu - RJ

marcelo_fernandesneg@outlook.com, larissamy@hotmail.com, brciopolifke@gmail.com, , eng.gisele.pires@gmail.com, carlosguarido@globo.com

Resumo – *Transbordamento de rios é um dos principais eventos extremos e observados com frequência na natureza e que afetam as atividades socioeconômicas em vários países ao redor do mundo. Especialmente na região da Baixada Fluminense do estado do Rio de Janeiro, além das componentes ambientais, fatores antropogênicos como a ocupação desordenada e irregular do solo nas margens próximas dos cursos d'água pode favorecer um aumento da impermeabilização do solo. Neste trabalho foram utilizados os dados de chuva observados na bacia do rio Pavuna durante os seus eventos de transbordamento ocorridos entre 2008 e 2015. Pôde se observar que, em média, a estação Bangu apresentou menores valores acumulados (em torno de 15 mm) em relação às estações Anchieta (38 mm) e CET Meriti (40 mm). Concomitantemente, verificou-se a importância da caracterização espacial das estações em relação ao ponto de monitoramento, com as estações Bangu e Anchieta localizadas mais distantes. Com ênfase à estação CET Meriti verifica-se que, aproximadamente em cerca de uma hora e meia, considerando um determinado acumulado pluviométrico o rio Pavuna tende a transbordar, sendo esta variação aproximadamente de 2,2 metros.*

Palavras-chave: Rio Pavuna, CET Meriti, transbordamentos

Abstract - *Rivers flooding is one of the main extreme and frequently observed events in nature and that affect socioeconomic activities in several countries around the world. Especially in the Baixada Fluminense region of Rio de Janeiro state, in addition to the environmental components, anthropogenic factors such as disorderly and irregular occupation of the soil on the banks close to the watercourses can favor an increase in soil waterproofing. In this work we used the rain data observed in the Pavuna River basin during its overflow events that occurred between 2008 and 2015. It was observed that, on average, the Bangu station had lower accumulated values (around 15 mm) in relation to to Anchieta (38 mm) and CET Meriti (40 mm) stations. Concomitantly, it was verified the importance of the spatial characterization of the stations in relation to the monitoring point, with the Bangu and Anchieta stations located more distant. With an emphasis on the CET Meriti station, it appears that, in about an hour and a half, considering a determined rainfall, the Pavuna River tends to overflow, with this variation being approximately 2.2 meters.*

Keywords: Pavuna River, CET Meriti, overflows

1 Introdução

Transbordamento de rios é um dos principais eventos extremos e observados com frequência na natureza e que afetam as atividades socioeconômicas em vários países ao redor do mundo. Quando estes eventos extremos ocorrem em regiões onde o ser humano vive e exerce as suas atividades, como, por exemplo, as cidades, podem ocasionar inúmeras perdas materiais e, até mesmo, nos eventos mais críticos a ocorrência de mortes. Neste último caso são, então, definidos como desastres naturais. Como medida mitigadora dos danos ocasionados aos eventos de transbordamentos de rios, o conhecimento de padrões hidrológicos, tais como, o tempo de concentração se caracteriza como tema de grande relevância, destacando-se também a sua interdisciplinaridade entre as áreas de engenharia, meteorologia, saúde e defesa civil (Junior *et al.* 2019).

Inundações rápidas, do inglês *flash floods*, são assim caracterizadas uma vez que um determinado nível responde às chuvas em sua área de contribuição, transborda e atinge o estágio de normalidade em um curto intervalo de tempo, principalmente em consequência da ocorrência de chuvas intensas sobre uma área de captação relativamente pequena (Borga *et al.* 2007). Nesse contexto, o interesse sobre o meio ambiente, incluindo a mitigação de desastres naturais, com ênfase a enchentes e movimentos de massa, tem adquirido tema de grande relevância e pesquisas nas últimas décadas (Silva *et al.* 2017). Com ênfase ao estado do Rio de Janeiro, verifica-se que a ocorrência de eventos de chuvas que ocasionam desastres naturais, são principalmente formados pela configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul, passagem de Sistemas Frontais e tempestades de verão (Silva *et al.* 2017). Especialmente na região da Baixada Fluminense do estado do Rio de Janeiro, além das componentes ambientais, fatores antropogênicos como a ocupação desordenada e irregular do solo nas margens próximas dos cursos d'água pode favorecer um aumento da impermeabilização do solo. Assim, na ocorrência de chuvas intensas, verifica-se uma tendência de aumento e aceleração dos picos de cheia e, conseqüentemente, um número expressivo de vítimas afetadas (Carneiro 2008, Mayoral 2017).

Assim, o Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Meio Ambiente - INEA (<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/index.htm>) criado em 2008 visa através de o monitoramento hidrometeorológico auxiliar a tomada de decisão realizada pelas defesas civis. Nesse sistema, ao se identificar uma situação de risco hidrológico, avisos de alerta são enviados para defesas civis e população com a finalidade de mitigar os possíveis danos associados à ocorrência das cheias (Bahiense *et al.* 2015). Dentre os rios monitorados pelo INEA, optou-se pesquisar analisar o rio Pavuna (estação CET Meriti) por devido ao seu histórico de transbordamentos, assim como possuir uma boa quantidade de dados disponíveis.

2 Metodologia

O rio Pavuna possui a sua área de contribuição fazendo divisa com as cidades do Rio de Janeiro, Mesquita, Nilópolis e São João de Meriti (Figura 1). O rio Pavuna (estação CET Meriti) é monitorado pela estação hidrometeorológica pertencente ao Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e realiza a medição da chuva e nível de rio (através de um sensor de pressão) a cada quinze (15) minutos. No trabalho de Junior *et al.* (2019) foram identificados todos os eventos de transbordamento do rio Pavuna através de uma cota pré-estabelecida pelo INEA ocorridos entre 2008 e 2015. Os autores identificaram 37 ocorrências nas quais o nível do rio Pavuna ultrapassou a cota de transbordamento e verificaram uma maior ocorrência dos eventos de transbordamentos do rio Pavuna entre novembro e março (período chuvoso no estado do Rio de Janeiro) e uma menor frequência entre abril e setembro (período seco).

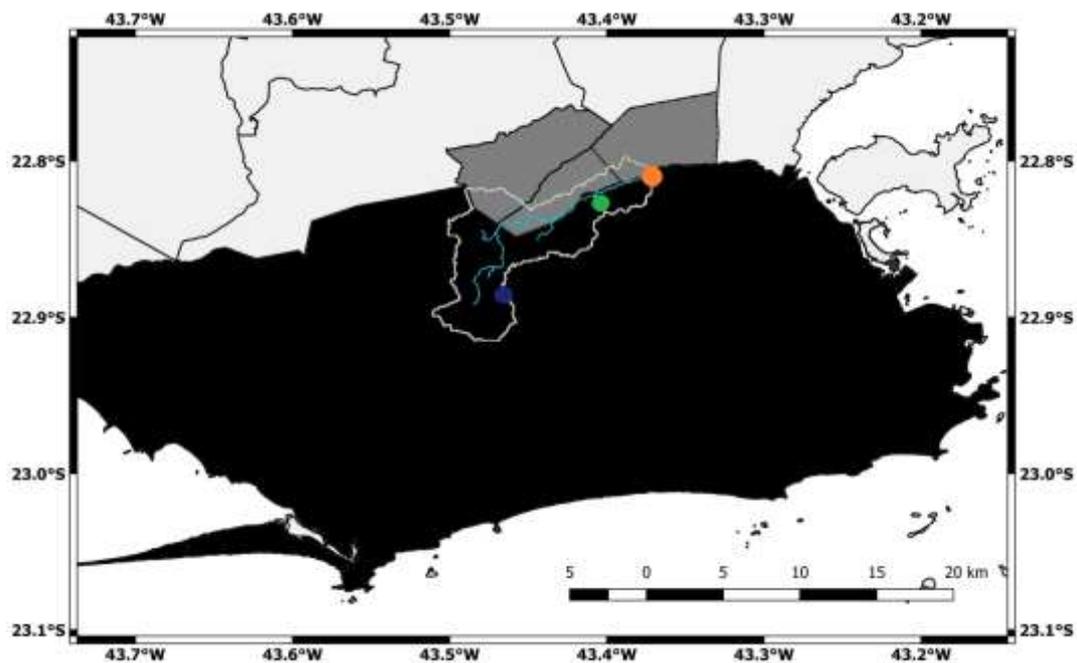


Figura 1 - Bacia (delineada em branco) do rio Pavuna (em azul) e estações CET Meriti (círculo em laranja), Anchieta (em verde) e Bangu (em azul escuro). O município do Rio de Janeiro (preto) e os municípios Mesquita, Nilópolis e São João de Meriti (cinza escuro) encontram-se destacados.

Considerando os dados das estações telemétricas localizadas na bacia do rio Pavuna (Figura 1), isto é, as estações CET Meriti, Bangu e Anchieta este trabalho procurou avaliar quantitativamente o comportamento do rio Pavuna em função das chuvas ocorridas em sua área de contribuição durante os eventos de transbordamento. Assim foram analisadas três variáveis: 1) Precipitação efetiva: Foram calculados os acumulados pluviométricos antecedentes ao nível máximo obtido para o rio Pavuna para cada estação respectivamente, assim como, a contribuição total (somatório de todas as estações); 2) Tempo de Crescimento: Tempo do início da precipitação em cada estação antes do nível máximo do rio Pavuna e 3) Variações de nível do rio Pavuna no início da precipitação até atingir o seu pico máximo (Tucci 1993). A Figura 2 ilustra de forma qualitativa os parâmetros calculados.

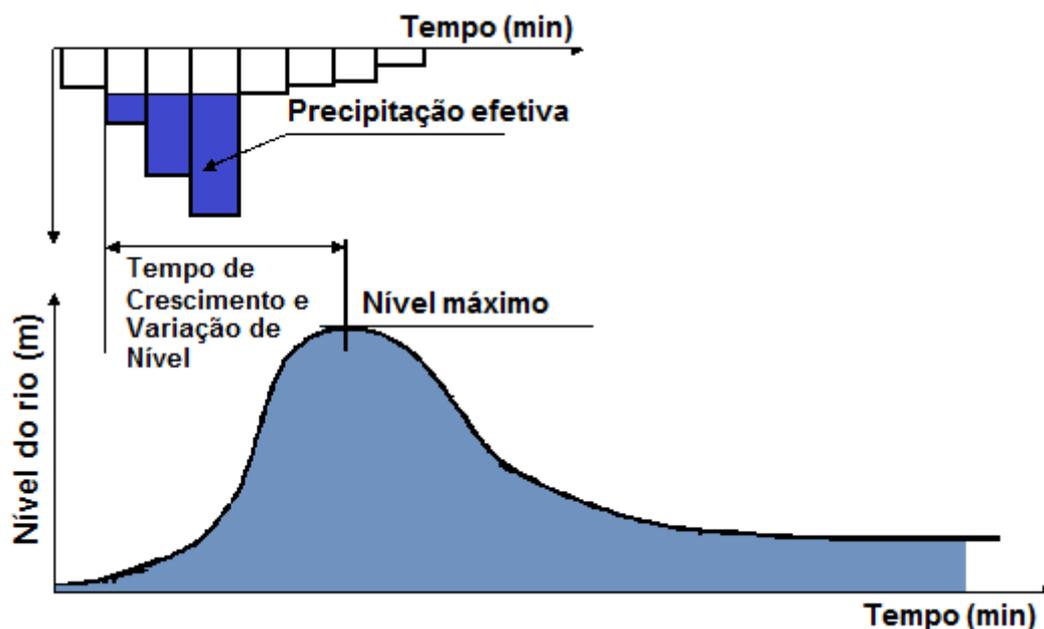


Figura 2 - Estimativa do tempo de concentração pelo método gráfico.

Os dados de precipitação e de nível de rio utilizados são oriundos das estações da Rede Telemétrica do Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente – INEA (<http://www.inea.rj.gov.br/>) e Sistema Alerta Rio (<http://alertario.rj.gov.br/>) localizadas nos municípios de São João de Meriti e da cidade do Rio de Janeiro no qual a sub bacia do rio Pavuna está localizada coletados entre 2008 e 2015.

3 Resultados

A Figura 3 os dados de precipitação efetiva para cada estação telemétrica (Figura 3a) localizada na bacia de contribuição do rio Pavuna, assim como, a contribuição total, isto é, o somatório (Figura 3b). É possível verificar, em média, a estação Bangu apresentou menores valores acumulados (em torno de 15 mm) em relação às estações Anchieta (38 mm) e CET Meriti (40 mm) antes do pico máximo do rio Pavuna. Considerando a contribuição total da chuva em toda a bacia, verifica-se através da Figura 3b que, em média, a chuva média associada às variações do rio Pavuna que ocasionam consequentemente transbordamentos, valores em torno de aproximadamente 100 mm. Através de uma análise concomitante associada aos acumulados pluviométricos das três estações, verifica-se que as estações Anchieta e CET Meriti correspondem a aproximadamente 85% da chuva associada aos transbordamentos do rio Pavuna, caracterizando a importância do monitoramento destas para a emissão de alertas na iminência de possíveis cenários de risco.

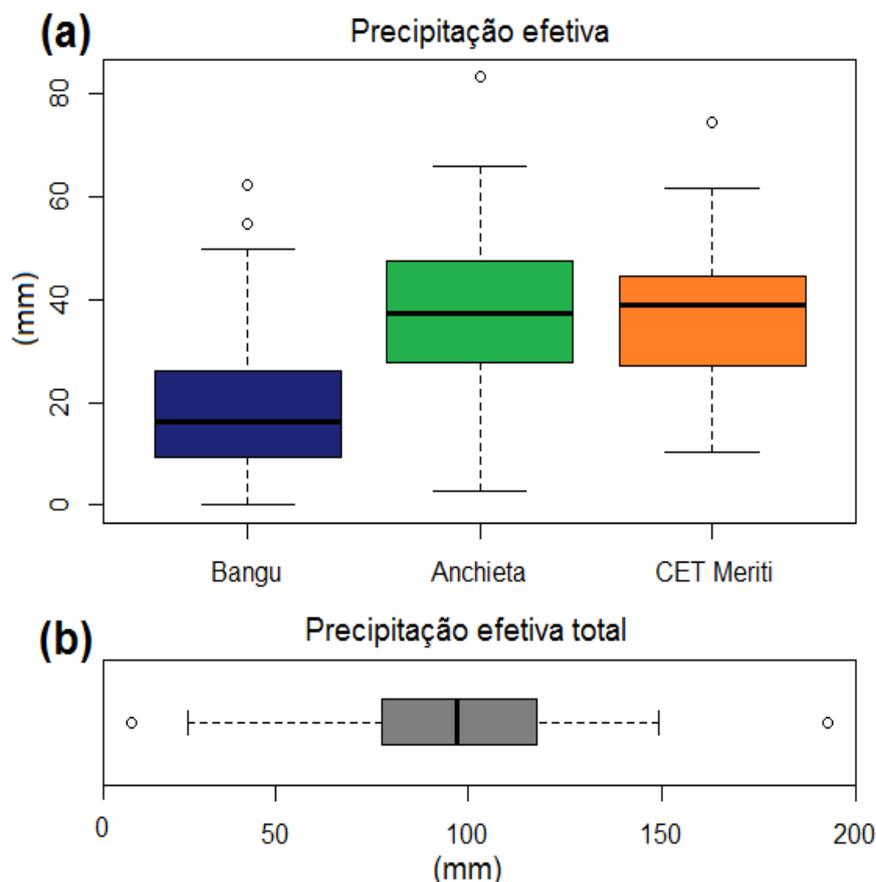


Figura 3 – Precipitação efetiva durante os eventos de transbordamentos do rio Pavuna: (a) para as estações Bangu, Anchieta e CET Meriti e (b) acumulação total.

Similar a Figura 3, a Figura 4 ilustra estrutura similar de apresentação dos dados. Na Figura 4a são observados os dados de tempo de resposta para cada estação telemétrica (Figura 4a) e a variação de nível do rio Pavuna (Figura 4b) durante os eventos de transbordamento ocorridos entre 2008 e 2015. Verifica-se que a estação Bangu apresenta um tempo de resposta maior em relação às demais estações, totalizando aproximadamente 3 horas, em relação às estações Anchieta (em torno de 2 horas e 30 minutos) e CET Meriti (em torno de 1 hora e meia). Comparando estes resultados com a Figura 1 verifica-se a importância da caracterização espacial das estações em relação ao ponto de monitoramento, com as estações Bangu e Anchieta localizadas mais distantes. Com ênfase à estação CET Meriti verifica-se que, aproximadamente em cerca de uma hora e meia, considerando um determinado acumulado pluviométrico o rio Pavuna tende a transbordar. Considerando as variações de nível (Figura 4b) verifica-se, em média, que durante os eventos de transbordamento o rio Pavuna tende a subir aproximadamente 2,2 metros.

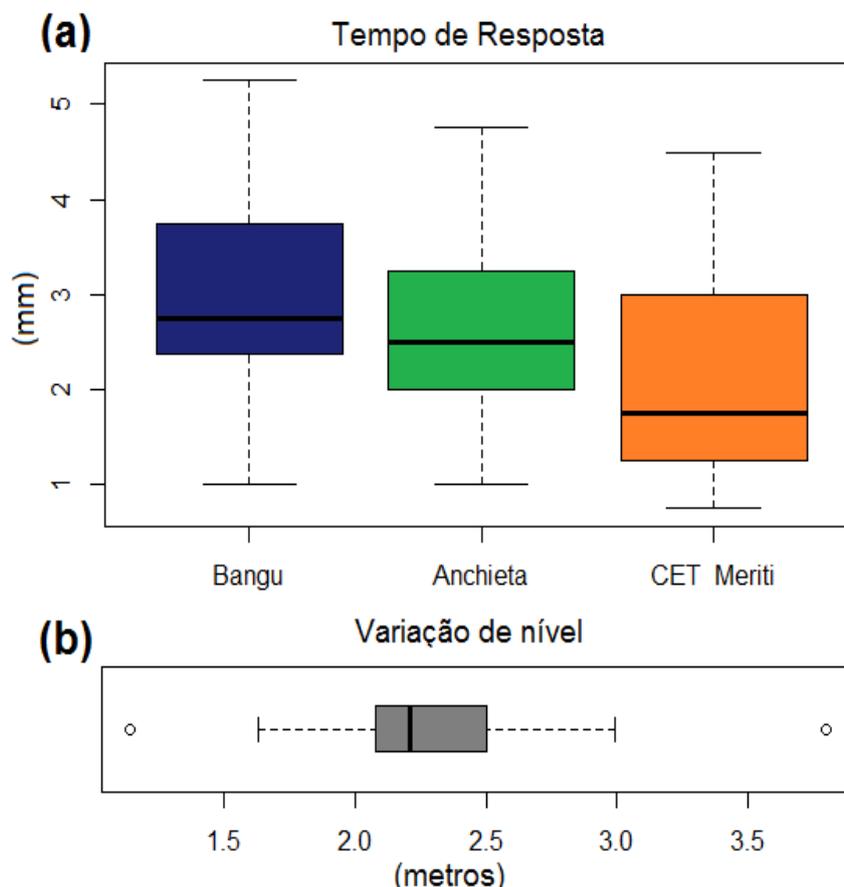


Figura 4 – Parâmetros hidrológicos associados aos eventos de transbordamentos do rio Pavuna: (a) Tempo de Resposta e (b) Variação de nível.

4 Conclusões

Eventos de transbordamentos de rios são responsáveis por ocasionar inúmeras perdas socioeconômicas em vários países do mundo. Neste contexto, pesquisas acadêmicas e interdisciplinares com a finalidade de fornecer informações que possam ser utilizadas de forma operacional pelas defesas civis se caracterizam como ferramentas de base e emergenciais. Neste trabalho foram utilizados os dados de chuva observados na bacia do rio Pavuna durante os seus eventos de transbordamento ocorridos entre 2008 e 2015. Verificou-se que, em média, a estação Bangu apresentou menores valores acumulados (em torno de 15 mm) em relação às estações Anchieta (38 mm) e CET Meriti (40 mm) antes do pico máximo do rio Pavuna. Através de uma análise concomitante associada aos acumulados pluviométricos das três estações, verifica-se que as estações Anchieta e CET Meriti correspondem a aproximadamente 85% da chuva associada aos transbordamentos do rio Pavuna, caracterizando a importância do monitoramento destas para a emissão de alertas na iminência de possíveis cenários de risco. Concomitantemente, verificou-se a importância da caracterização espacial das estações em relação ao ponto de monitoramento, com as estações Bangu e Anchieta localizadas mais distantes. Com ênfase à estação CET Meriti verifica-se que, aproximadamente em cerca de uma hora e meia, considerando um determinado acumulado pluviométrico o rio Pavuna tende a transbordar, sendo esta variação aproximadamente de 2,2 metros.

5 Referências Bibliográficas

Bahiense JM, Júnior JEFF, Costa LF, Charge LT (2015) Monitoramento hidrológico quantitativo no estado do Rio de Janeiro: Importância, histórico e modernização. <http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-991>. Acessado em 10 de abril de 2020

Borga M, Boscolo P, Zanon F, Sangati M (2007) Hydrometeorological analysis of the August 29, 2003 flash flood in the eastern Italian Alps. *J Hydrometeorol* 8:1049–1067

Carneiro PF (2008) Controle de Inundações em Bacias Metropolitanas Considerando a Integração do Planejamento do Uso do Solo à Gestão dos Recursos Hídricos. Estudo de Caso: Bacia dos rios Iguaçu/Sarapuá na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Junior MNA, Castro BVO, Silva FP, Pires GP, Sampaio RJ (2019) Análise anual e mensal dos transbordamentos do rio Pavuna. *Rev Eng, Meio Amb e Inov* 3(1):44-49

Mayoral AG (2017) Estudo da bacia do rio Acari: Obras de controlo de inundações e resiliência da bacia. Programa de graduação em Engenharia Ambiental. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Silva FP, Rotunno Filho OC, Sampaio RJ, Dragaud ICV, Magalhães AAA, Justi da Silva MGA, Pires GD (2017) Evaluation of atmospheric thermodynamics and dynamics during heavy-rainfall and no-rainfall events in the metropolitan area of Rio de Janeiro, Brazil *Meteorol Atmos Phys* <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0570-5>