

REVISTA ELETRÔNICA

ENGENHARIA, MEIO AMBIENTE & INOVAÇÃO

ISSN 2595-5616

VOLUME 08 • Nº 1 • Jan. 2022

Engenharia Civil

Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas – FaCET

UNIG
UNIVERSIDADE IGUAÇU

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 de pesquisadores externos e do Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade para a difusão do conhecimento de pesquisas científicas direcionadas para desenvolvimento científico e regional.

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.

Gisele Dornelles Pires

Editora chefe

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

Paulo César Ribeiro
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
Secretária 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 (UFRJ)

Conselho Editorial

Alexandre Luis Belchior dos Santos (UFF)
Carlos Eduardo Moreira da Silva (UNIG)
Carlos Rogerio Domingos Araújo Silveira (UNIG)
Claudia Daza Andrade (UFRRJ)
Giana Laport Alves de Souza (UNIG)
Juliana Hermsdorff Vellozo de Freitas (ALERTA RIO)
Ligia Maria Nascimento De Araújo (ANA)
Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva (UENF)
Paula Fernanda Chaves Soares (UFRRJ)
Thábata Teixeira Brito (INCAPER)
Wanderson Luiz Silva (CEPEL)

REVISTA ENGENHARIA, MEIO AMBIENTE & INOVAÇÃO / Universidade Iguaçu, v.08, n.1
(janeiro 2021). Nova Iguaçu – Rio de Janeiro

ISSN 2595-5616

Semestral

FOCO E ESCOPO

A REVISTA ENGENHARIA, MEIO AMBIENTE & INOVAÇÃO é o periódico oficial da Universidade Iguaçu (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, Defesa Civil, inovação*. 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

ANÁLISE DOS PLANOS PLURIANUAIS DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS COM FOCO NA GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES.....	6
Inah Gonçalves Ferraz Silva Talyuli ¹ ; Alexandre Luís Belchior dos Santos ² ; Eliane Cristine Bezerra de Lima ³	6
PLATAFORMAS PARA DESENVOLVIMENTO DE REGULADORES NEBULOSOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA. <i>FUZZY REGULATOR DEVELOPMENT PLATFORMS: A REVIEW</i> . 22	
André Tiago Santos.	22
ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DO MONITORAMENTO CLIMÁTICO E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR E IMPACTOS NOS MUNICÍPIOS DA BAIXADA FLUMINENSE MESQUITA, NILOPOLIS E BELFORD ROXO/RJ.....	39
Amanda de Paiva Pimenta da Silva ¹ ; Gisele Dornelles Pires ² ; Fabricio Polifke da Silva ³ .39	
TRATAMENTO DE ÁGUA DE ESGOTOS PARA FINS NÃO POTÁVEIS PELO USO DE RAÍZES52	
Cristian Pimentel de Souza ¹ , Cassia Maria Soares de Paulo da Silva ² , Carlos Eduardo Guarido ³ , Paula Fernanda Chaves Soares ⁴	52
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS-RJ UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA.....	60
Edinaldo Vicente de Mello ¹ ; Gisele Dornelles Pires ² ; Fabricio Polifke da Silva ³	60

ANÁLISE DOS PLANOS PLURIANUAIS DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS COM FOCO NA GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES.

Inah Gonçalves Ferraz Silva Talyuli¹; Alexandre Luís Belchior dos Santos ²; Eliane Cristine Bezerra de Lima ³

¹ Mestranda em Defesa e Segurança Civil, Instituto de Geociências - UFF Rua Miguel de Frias, 9, Niterói, RJ, 24220-900, BR

² Mestrado em Defesa e Segurança Civil, Instituto de Geociências - UFF Rua Miguel de Frias, 9, Niterói, RJ, 24220-900, BR

³ Coautor. Doutoranda em Psicologia – UFRJ Av. Pedro Calmon, 550 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-901

¹inahgoncalves@id.uff.br, ²abelchior@id.uff.br, ³teneliane@gmail.com

Resumo - Nas últimas décadas os desastres têm se tornado cada vez mais presentes, aumentando não só em relação à frequência, mas também em intensidade. A indicação para priorizar investimentos em prevenção é mundial e, inclusive, consta na legislação brasileira. Dentre as três esferas de governo, que devem atuar conjuntamente para a redução de riscos de desastres, a esfera municipal tem um papel muito importante por ser a mais próxima da comunidade e de seus desafios. Nesse contexto, o planejamento municipal deve integrar ações para a redução de riscos de desastres. Considerando que o desastre da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, ocorrido em janeiro de 2011, está entre os maiores que aconteceram no Brasil e que teve um papel catalisador para instituição da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), A pesquisa buscou investigar e analisar como Petrópolis, um dos locais mais atingidos por esse desastre, tem trabalhado a Gestão de Riscos de Desastres (GRD) e de que forma ela se integra ao planejamento municipal. Para isso, foram escolhidos os Planos Plurianuais (PPA) municipais de 2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021 como base do estudo. Este trabalho de pesquisa apresenta abordagem qualitativa tendo sido desenvolvido por intermédio de pesquisa bibliográfica e exploratória. No processo de análise, foram constatados conceitos e políticas de GRD nos programas e ações dos PPA selecionados do município, nos quais foi identificada uma evolução dos conceitos ligados a Defesa Civil, bem como a busca pela integração intersetorial.

Palavras-chave: Defesa Civil Municipal; Plano Plurianual Municipal; Petrópolis

Abstract - In recent decades disasters have become increasingly present, augmenting not only in frequency but also in intensity. The indication to prioritize investments in prevention is global and it is even included in the Brazilian legislation. It is the duty of the three spheres of government to work together to reduce disaster risk. Among them, the municipal sphere plays an especially significant role as it is closest to the community and its challenges. In this context, municipal planning must integrate actions to reduce disaster risks. Considering that the disaster in the mountainous region of the state of Rio de Janeiro, which occurred in January 2011, is among the biggest that happened in Brazil and that it played a catalytic role in the institution of the National Policy for Civil Defense and Protection (PNPDEC), this study sought to survey and analyze how Petrópolis, one of the places most affected by this disaster has been working with Disaster Risk Management (DRM) and how it is integrated into municipal planning. For that, the municipal Multiannual Plans (PPA) of 2010-2013, 2014-2017, and 2018-2021 were chosen as the basis for this study. This work, which presents a qualitative approach, was developed through bibliographical and exploratory research. In the analysis process, DRM concepts and policies were found in the programs and actions of the analyzed municipal PPAs, in which the evolution of concepts related to Civil Defense in these were identified, as well as the search for intersectoral integration.

Keywords: Municipal Civil Defense; Municipal Multiannual Plans; Petrópolis

1 Introdução

Conforme aponta o Escritório das Nações Unidas para a Redução de Risco de Desastres (United Nations Office for Disaster Risk Reduction – UNDRR), é notório que tem ocorrido um aumento dos desastres não só em relação à frequência, mas também à intensidade, sendo muitos deles potencializados pelas mudanças climáticas (UNDRR, 2015). O Intergovernmental Panel on Climate Change – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC afirma que as atividades humanas estão causando mudanças climática, gerando eventos extremos, que incluem ondas de calor, fortes chuvas e secas, mais severos e frequentes (IPCC, 2021).

A Organização das Nações Unidas (ONU) define desastres como:

Uma séria perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos interagindo com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, resultando em perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais. (“[Escreva texto]”) (UNITED NATIONS, 2016, p. 13, tradução nossa).

Não é de hoje a preocupação com a preservação ambiental no mundo. Essa pauta, alvo de grandes debates, caminha ao lado da constatação da degradação ambiental como produto do processo de ocupação do ser humano no nosso planeta. Nesse sentido, Nunes (2015) informa que existe uma falta de sintonia entre a capacidade de o homem promover alterações e sua habilidade de gerenciá-las. Desde as Conferências das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, ocorridas em Estocolmo (1972) e no Rio de Janeiro (1992), a comunidade internacional começou a debater e a se preocupar não só com os impactos trazidos pelas mudanças climáticas, mas também com esse aumento na frequência e na intensidade de eventos meteorológicos extremos que ocasionam desastres.

Quando eventos extremos ocorrem em um meio que não traz perturbações a um sistema, comunidade ou sociedade, ele apenas faz parte do ciclo natural e não é considerado um desastre. Sendo assim, não há uma relação de causa e consequência entre eventos extremos e desastres, fato que revela seu caráter social.

A degradação ambiental associada ao desenvolvimento das cidades, o crescimento da população urbana, o aumento da densidade demográfica e a falta de percepção de risco aumentam a vulnerabilidade da população. A partir do entendimento da relação diretamente proporcional da magnitude da vulnerabilidade com a magnitude do risco, chega-se à conclusão de que a falta de percepção de risco gera o aumento dele.

Historicamente, o foco do homem para lidar com os desastres naturais se dá em ações de resposta à emergência, com o intuito de mitigar os danos imediatos. No entanto, essa forma de atuação não objetiva um planejamento para diminuição dos riscos desses eventos, ou do possível impacto destes, possibilitando, assim, o acontecimento de novos desastres com eles, ou com maiores, danos (VIEIRA, 2017).

No acontecimento de desastres, ocorre uma concretização de um cenário estabelecido de risco e, ao mesmo tempo, uma atualização do quadro existente. Novos

riscos são gerados a partir de um novo evento, estando estes diretamente ligados às condições do território e à capacidade de resiliência do local afetado. Destaca-se, diante disso, a necessidade de aplicação de políticas contínuas e integradas voltadas à Redução de Risco de Desastres (RRD) (FREITAS et al., 2014).

No cenário internacional, a UNDRR se sobressai no desenvolvimento de políticas de RRD com foco na resiliência e no desenvolvimento de uma cultura de prevenção por meio de uma troca global de experiências. No entanto, essa percepção da importância da RRD pode ser considerada jovem ante o tempo com que a sociedade vem sofrendo com os desastres. Outrossim, a RRD passa por diversos níveis, sendo eles mundial, regional, nacional e local, tendo já sido constatado que sua gestão de forma eficaz contribui para o desenvolvimento sustentável (UNDRR, 2015).

O Brasil é conhecido por apresentar um território de dimensões continentais. Em função disso, há uma diversidade de aspectos geográficos e climatológicos que, apesar de trazer uma série de riquezas, também resultam em muitos desafios, possibilitando a ocorrência de desastres naturais de diversas naturezas de acordo com cada região. Essa diversidade do país pode ser percebida quando se observa que, entre os desastres que se destacam em seu território, segundo o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres – CEPED (2013), as enxurradas são as responsáveis pelo maior número de afetados; e a estiagem e a seca, pelo maior número de pessoas atingidas, sendo dois acontecimentos relacionados com aspectos geográficos e climatológicos díspares.

Além disso, conforme a UNDRR (2015), por se caracterizar como um país em desenvolvimento, possui muitos desafios no que tange à desigualdade social, por isso sofre impactos (econômicos, sociais, na saúde, culturais e ambientais) ainda maiores. Ademais, embora a indicação para priorizar investimentos em ações preventivas em relação a ações de resposta a desastres seja mundial e esteja inserida na legislação brasileira, a falta de cultura de prevenção no Brasil é bastante criticada.

Nesse ponto de vista, pelo seu caráter multidisciplinar, a Gestão de Riscos de Desastres (GRD) necessita de uma articulação de diferentes níveis de governo com demais áreas, órgãos e setor privado, tendo, assim, diferentes atores para buscar resultados eficientes e eficazes. Nesse contexto, a política de RRD na escala municipal é a que possui maior proximidade em relação aos habitantes e a que possui um conhecimento do território e seus desafios mais preciso. Além do mais, é nessa escala que ocorre a participação civil, um dos atores mais importantes nessa política, aumentando ainda mais a base de conhecimento territorial e de seus desafios por meio do diálogo.

Com foco na implementação de políticas de RRD na escala municipal, o presente estudo buscou, por intermédio de um estudo comparativo de Planos Plurianuais (PPA) municipais, fazer uma análise da incorporação de ações voltadas à prevenção no planejamento municipal. O PPA é um instrumento que possibilita uma visão geral do planejamento municipal, em que será possível fazer um exame sob a ótica multidisciplinar.

Foi escolhido como base referencial o desastre ocorrido em janeiro de 2011 na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, para serem analisadas as transformações sofridas nesse planejamento posteriormente ao evento. Para isso, serão analisados os PPA

municipais referentes a três quadriênios, ou seja, 12 anos de planejamento (2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021), que incluem o período pré e pós-desastre.

Petrópolis, um dos três municípios mais atingidos nesse desastre, vem se destacando na mídia por apresentar resiliência, em relação aos outros dois municípios envolvidos na calamidade, Teresópolis e Nova Friburgo. Apesar de esses dois municípios terem sido os maiores afetados nesse episódio, foram constatados casos de má gestão de verba pública levando à troca de prefeitos, que perderam seus mandatos ou foram afastados; e, com isso, o processo de recuperação e desenvolvimento de políticas de RRD pode ter sido prejudicado. Esse fato poderia trazer um grande viés para a análise proposta, que tem a intenção de levantar, registrar e compreender as ações realizadas desde o evento relacionadas com a GRD na esfera municipal. Em função desse cenário, foi escolhido como objeto de estudo o município de Petrópolis, o terceiro mais atingido.

2 Metodologia

Para alcançar o objetivo de investigar e analisar a integração entre a GRD e o planejamento territorial municipal, foi realizada coleta de dados por meio de uma pesquisa bibliográfica, utilizando artigos, dissertações, teses e legislações pertinentes.

O recorte temporal do estudo foi definido em função de um evento específico, o desastre da Região Serrana de janeiro de 2011, selecionado diante de sua magnitude e impacto na política nacional relativa a desastres.

Considerando a intenção de contribuir para o desenvolvimento da integração mencionada em outros municípios do objetivo geral, foi escolhida a cidade de Petrópolis como objeto de estudo, em função de ter apresentado um reconhecimento de ser o município, entre os três mais atingidos no evento de 2011, com um caminho mais solidificado na busca pela resiliência na pesquisa bibliográfica desenvolvida e por apresentar um histórico de recorrência de desastres naturais.

Para a elaboração da análise sob a visão da ótica multidisciplinar, proposta no objetivo geral desta pesquisa, foram levantados os instrumentos de planejamento municipal previstos na legislação pertinente, como a Constituição Federal de 1988 e o Estatuto da Cidade, e realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito dessa temática de forma a conquistar maior compreensão para então selecionar o instrumento base para a análise.

O resultado desse levantamento e da pesquisa foi a escolha do instrumento de planejamento municipal denominado PPA, no qual o presente estudo se propõe a avaliar os dados sob uma abordagem qualitativa. Considerando que o PPA é um planejamento desenvolvido para quadriênios e o evento de definição do recorte temporal, este trabalho selecionou os PPA municipais 2010-2013, 2014-2017 e 2018-2021 que englobam todo o planejamento desde o que estava em vigor na época do evento até o presente momento. Destes PPA, foram selecionados programas e ações que apresentavam relação com GRD para análise e que serviram de base para chegar aos resultados.

Para desenvolvimento da análise proposta apontou-se para o enfoque dado pelo município na integração entre a GRD e o planejamento municipal por meio dos PPA selecionados –, foram propostas áreas de integração, estipuladas com base nas diretrizes estabelecidas na Lei Federal nº 12.608/12, na literatura e trabalhos acadêmicos pertinentes, como filtro de análise. A partir disso, foram desenvolvidos quadros síntese para melhor visualização dos apontamentos e conclusões.

3 Gestão de riscos de desastres na esfera municipal

De acordo com a UNDRR (2012), os governos locais possuem uma maior proximidade com os cidadãos, com maior potencial de articulação com todos os setores interessados que possam vir a contribuir para o objetivo final e por serem a linha de frente para antecipar, gerenciar e reduzir o risco de desastres. A gestão de riscos tem um caráter multidisciplinar, em que a integração é fundamental para seu sucesso. Assim, para que seja implementada na escala municipal, precisa estar articulada com o planejamento do município.

Esse planejamento possui uma série de mecanismos e instrumentos que, se desenvolvidos com qualidade, já estão intrinsecamente alinhados com alguns pontos de gestão de riscos, como, por exemplo: o Plano Diretor do município; a criação e a manutenção de áreas de preservação ambiental; e a fiscalização de ocupações irregulares. Segundo Vargas Hernández (2010), o processo de desenvolvimento do município é um reflexo da eficácia e eficiência da gestão pública, da capacidade de empreender e competir dos atores econômicos, assim como das possibilidades e capacidade de participação comunitária e cidadã.

Com isso, na busca do gestor pelo desenvolvimento do município, podem ser executadas medidas de gestão de riscos indiretamente, mesmo que esse não tenha sido seu objetivo. No entanto, por se tratar de um planejamento complexo, apresenta muitos desafios e, consequentemente, falhas. O crescimento da malha urbana do município de forma desordenada, as ocupações em áreas de proteção ambiental e de risco são exemplos que demonstram uma falha ou inexistência do planejamento e/ou de fiscalização, que acabam por gerar um cenário de risco. Além disso, conforme o Módulo de Formação do Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2017), influências históricas, políticas e sociais não podem ser desconsideradas quando observadas as causas desse cenário, revelando assim a natureza social do risco e do desastre.

Essa visão ressalta a importância da integração da gestão de riscos com o planejamento municipal, pois só com diversos atores será conquistada uma abordagem mais completa que resultará em soluções mais eficiente e eficazes.

Diante da impossibilidade de eliminar todos os geradores de riscos e da aceitação de que foge à capacidade humana evitar que estes processos ocorram, ações preventivas são aplicadas para que os danos sejam minimizados ou evitados (KOBAYAMA, 2006).

A compreensão dos riscos existentes é de extrema relevância para elaboração de medidas preventivas. A análise de riscos, através de mapeamento e hierarquização, resulta em material que serve de base para complementação de planos diretores e elaboração de planos de contingência. Essas interligações demonstram o aspecto sistemático da gestão de riscos.

Ações preventivas comportam um conjunto de atividades e medidas, usualmente divididas entre estruturais e não-estruturais, a serem tomadas anteriormente a ocorrência de um evento crítico que possam causar danos aos cidadãos, à sociedade e ao meio ambiente (KOBAYAMA, 2004, 2006). A UNDRR caracteriza medidas estruturais como qualquer construção física para reduzir ou evitar possíveis impactos de perigos, ou a aplicação de técnicas de engenharia ou tecnologia para alcançar a resistência e a resiliência a perigos em estruturas ou sistemas. Medidas não estruturais são medidas que não envolvem modificações físicas, as quais usam conhecimento, prática ou acordos para reduzir riscos de desastres e impactos, particularmente por meio de políticas e leis, conscientização

pública, treinamentos e educação (PREVENTION WEB, [20--], tradução nossa). Essas ações de prevenção, estruturais e não estruturais, podem ser distribuídas em diversas áreas de planejamento de um município.

Segundo Di Gregorio et al. (2019), a eficácia do GRD passa por todas as esferas de governo e depende da integração de três subsistemas que variam de responsável de acordo com cada esfera. São eles: os subsistemas de controle de uso do solo; o monitoramento e o alerta; e a Defesa Civil.

A indicação contida no art. 3º da Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, de integração entre PNPDEC com políticas multisetoriais, está relacionada com o entendimento da gestão de riscos como um processo complexo e multidisciplinar (BRASIL, 2012a). Com base nessa indicação e nos demais conceitos levantados, o presente estudo se propõe a observar cinco áreas nas quais o planejamento municipal integra-se às indicações da PNPDEC para gerenciamento de riscos de desastres naturais:

- Urbanização e Habitação – Desenvolvimento de instrumentos de organização e/ou fiscalização do uso e ocupação do solo. Investimentos em habitação de interesse social.
- Meio Ambiente – Desenvolvimento e/ou fiscalização de políticas e normativas de preservação do meio ambiente, políticas de educação e conscientização ambiental.
- Infraestrutura Urbana – Ações ligadas a saneamento básico, como manutenção e expansão de áreas de drenagem de águas pluviais e da rede de esgoto.
- Defesa civil – Investimentos em capacitação, infraestrutura e pessoal. Investimentos em ações de prevenção, preparação, mitigação, resposta e recuperação.
- Obras estruturais – Obras de contenção, construção de pontes e viadutos. Investimentos de resultado a curto prazo na mitigação de riscos.

4 Resultados

Considerando o aspecto social do risco e do desastre e o fato de a esfera municipal ter o dever de seguir a PNPDEC, e, com isso, estimular a cultura da resiliência no município, sendo essa cidade capaz de resistir, absorver e se recuperar de forma eficaz, prevenindo vidas e bens; será apresentada uma caracterização geral do município de Petrópolis, passando por aspectos demográficos, econômicos, geomorfológicos, urbanos, históricos e relacionados com a ocorrência de desastres, para melhor compreensão desse importante ator no que diz respeito à GRD.

Os PPA são formados por uma série de programas compostos por ações integradas que visam um objetivo em comum. Para a abordagem da GRD na esfera municipal, com foco em ações de prevenção, foram selecionados os programas e ações dos PPA pertencentes ao recorte temporal indicado na metodologia que se relacionam diretamente com áreas de integração propostas no item 3 e, em seguida, foi feita uma classificação das ações baseando-se nessas áreas. A síntese dessa seleção e classificação realizada resultou em três quadros, um para cada PPA, sendo cada um acompanhado de análises textuais respectivas aos pontos de interesse e modificações observadas, que serão apresentados a seguir.

Entende-se que o PPA é um instrumento que funciona como uma moldura legal para o planejamento. Como o estudo se propõe a uma abordagem qualitativa do PPA, esta observará os conceitos e diretrizes contidos nos objetivos e títulos dos programas e ações. Com isso, o resultado da análise não consolidará um aprofundamento minucioso de cada assunto em função da diversidade e complexidade intrínsecas a eles, mas tem como objetivo possibilitar uma visão multidisciplinar, intersetorial e sistêmica do planejamento.

O PPA 2010-2013 foi selecionado em função de se tratar do planejamento vigente na época do desastre de janeiro de 2011, portanto, com ele, é possível examinar como o município tratava das áreas de integração com a GRD. Observou-se, a partir do quadro 1, que o termo prevenção já estava presente antes mesmo da Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, ser criada. Além disso, nota-se a existência de um programa específico para Defesa Civil, que inclui em suas ações a gestão da defesa civil, a prevenção e a preparação para redução dos efeitos dos desastres. No que se refere a ações de integração ligadas a meio ambiente, destaca-se a utilização do conceito de desenvolvimento sustentável juntamente com os de preservação, recuperação e educação ambiental. Em relação a urbanização e habitação, foi identificada a existência de uma intenção de planejamento de regularização fundiária e indicação do desenvolvimento de um plano local de habitação de interesse social e plano das áreas de risco. No que concerne a obras estruturais, constam obras de contenção e reflorestamento, entendidas como ações preventivas estruturais, assim como manutenção relacionada com cursos d'água, córregos e lagos. O programa "Infraestrutura e serviços urbanos" foi o que mais apresentou áreas de integração, demonstrando o maior caráter multidisciplinar entre os outros. Destaca-se também o programa "Morar Feliz" com a identificação de duas áreas de integração com a GRD.

Quadro 1 – Detalhamento dos programas que se relacionam com gestão de riscos no PPA municipal de Petrópolis 2010-2013

PPA 2010-2013			Áreas de Integração	
Programa	Objetivo	Ação		
Defesa civil – Prevenção e Preparação	Promover ações preventivas através da avaliação de riscos e preparar as comunidades para atuar na redução dos danos e prejuízos causados por desastres naturais ou por omissões do homem.	Gestão da Defesa Civil	Defesa Civil	
		Sistema de Atendimento as Emergências e Desastres		
		Prevenção e Preparação para a Redução dos Efeitos dos Desastres		
Infraestrutura e serviços urbanos	Desenvolver programas e atividades com a finalidade e de garantir à população de um modo geral.	Obras de Contenção e Reflorestamento	Obras Estruturais	Meio Ambiente
		Drenagem, Dragagem, Desassoreamento de Rios, Córregos e Lagos	Infraestrutura Urbana	
		Saneamento Básico		
		Consórcio para solução de sistemas de infraestrutura		
		Operação de serviços essenciais de limpeza pública	Meio Ambiente	
		Obras Reabilitação, qualificação e requalificação urbana	Urbanização e habitação	

		Obras de Urbanização		
Município sustentável	Atuar na Preservação, Conservação, Recuperação e Controle Ambiental, do Patrimônio Natural do Município.	Educação Ambiental	Meio Ambiente	
		Recuperação Ambiental		
		Gestão Ambiental		
		Desenvolvimento Sustentável		
		Preservação e Conservação Ambiental		
		Programas de capacitação de servidores para preservação do habitat natural da fauna silvestre em respeito a fauna, a flora e ao meio ambiente		
Morar Feliz	Promover a melhoria da condição de habitação no município de Petrópolis	Urbanização de Assentamento Precários	Urbanização e habitação	
		Implementar Regularização Fundiária		
		Elaborar Plano Local de Habitação de Interesse Social		
		Elaborar o Plano Municipal de Regularização Fundiária		
		Plano das Áreas de Risco no município de Petrópolis	Urbanização e habitação	Defesa Civil
		Construção de Unidade Habitacionais para famílias com renda 0 a 3 salários	Urbanização e habitação	
		Melhorias Sanitárias Domiciliares		
		Melhorias Habitacionais		
Qualificando	Dar suporte as ações de planejamento urbano do município	Qualificação dos centros, bairros e distritos	Urbanização e habitação	
		Controle e Elaboração de Estudos e Projetos Urbanísticos		

Fonte: elaboração própria a partir de dados do PPA 2010-2013 do município de Petrópolis (2009).

O PPA 2014-2017 trata do planejamento desenvolvido após a ocorrência do desastre da Região Serrana. No que se refere a defesa civil, nota-se, no quadro 2, o reflexo da implantação da Lei Federal nº 12.608/12 com a adesão do termo “proteção” no nome do programa relacionado a essa área de interação. Além disso, nessa mesma área, também foram identificados esses reflexos com a inclusão de ações para monitoramento e alerta de situações emergenciais e implantação de NUDEC. Na área de urbanização e habitação, percebe-se uma evolução com a presença do PLHIS e a continuidade identificada no PPA 2010-2013 da interdisciplinaridade do programa, que passou a ser chamado de “Viver Bem”, com a presença do Plano de áreas de risco. Na área de meio ambiente, foi inserida nas ações a questão de vistoria e licenciamento, o que demonstra um foco no processo de controle e fiscalização ambiental além da continuidade da presença do conceito de preservação, recuperação e educação ambiental. O programa “Serviços para

desenvolvimento urbano”, que aparenta ser similar ao programa “Infraestrutura e serviços urbanos” do PPA 2010-2013, continuou sendo o que mais apresentou áreas de integração, demonstrando o maior caráter multidisciplinar entre os outros.

Quadro 2 – Detalhamento dos programas que se relacionam com gestão de riscos no PPA municipal de Petrópolis 2014-2017

PPA 2014-2017			Áreas de Integração	
Programa	Objetivo	Ação		
Qualificação e mobilidade urbana	Realizar Intervenções urbanísticas para o desenvolvimento da cidade, promovendo uma melhora na mobilidade urbana e a qualificação dos equipamentos públicos disponíveis para a população	Plano de Mobilidade Urbana	Urbanização e habitação	
		Reurbanização e desenvolvimento de bairros e distritos		
		Avaliação de projetos de engenharia e arquitetura		
		Projetos de arquitetura e Urbanismo		
Viver bem	Reduzir o Déficit Habitacional do Município	Urbanização de Assentamentos Precários	Urbanização e habitação	
		Regularização Fundiária		
		Plano Municipal de Regularização Fundiária		
		Plano Local de Habitação de Interesse Social		
		Plano das Áreas de Risco de Petrópolis	Defesa Civil	Urbanização e habitação
		Construção de unidades habitacionais para famílias com renda de 0 a 3 salários	Urbanização e habitação	
		Melhorias Habitacionais		
		Trabalho Técnico Social		
		Assistência Técnica para Habitação de Interesse Social		
		Melhorias Sanitárias	Urbanização e habitação	Infraestrutura Urbana
Serviços para desenvolvimento urbano	Garantir o acesso aos serviços básicos urbanos desenvolvidos pelo município com serviços de limpeza urbana, melhoria da infraestrutura viária, iluminação pública e manutenção de área de convívio social.	Obras de Contenção de Encostas	Obras Estruturais	
		Obras para adequação do espaço urbano	Urbanização e habitação	Obras Estruturais
		Operação e serviços de limpeza pública	Infraestrutura Urbana	Meio Ambiente
		Drenagem, Desassoreamento e	Meio Ambiente	

		limpeza de rios e córregos	
Petrópolis verde	Recuperar e manter as áreas verdes já existente, ampliando as áreas públicas preservadas e incentivar a população na adoção de práticas ambientalmente corretas	Educação e Conscientização Ambiental	Meio Ambiente
		Vistoria e Licenciamento Ambiental	
		Preservação, Recuperação e Controle Ambiental	
Sistemas de proteção e defesa civil	Realizar atividades para prevenção e atendimento de situações emergenciais no município de Petrópolis	Implantação de Núcleos da Defesa Civil	Defesa Civil
		Monitoramento e Alerta de Situações Emergenciais	
		Preparação e Atendimento a Desastres e Possíveis Calamidades Públicas	
		Gestão de Proteção e Defesa Civil	

Fonte: elaboração própria a partir de dados do PPA 2014-2017 do município de Petrópolis (2013).

Quadro 3 – Detalhamento dos programas que se relacionam com gestão de riscos no PPA municipal de Petrópolis 2018-2021

PPA 2018-2021			Áreas de Integração	
Programa	Objetivo	Ação		
Petrópolis, cidade inteligente	O programa tem por objetivo implantar Cidades Inteligentes (Smart Cities), sistemas de pessoas interagindo e usando energia, materiais, serviços e financiamentos para catalisar o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida.	Centro de Operações Petrópolis	-	
		Petrópolis Conectada		
Infraestrutura em espaços públicos	Proporcionar obras de infraestrutura necessária à população de Petrópolis.	Drenagem, Desassoreamento e Limpeza de Rios e Córregos	Meio Ambiente	Infraestrutura Urbana
		Obras de Contenção de Encostas	Obras Estruturais	
		Plano Municipal de Regularização Fundiária	Urbanização e habitação	
		Demolições de Estruturas	Obras Estruturais	Urbanização e habitação
		Projetos de Engenharia e Arquitetura	Urbanização e habitação	
Habitação Petrópolis	Desenvolver Programas e Atividades com a finalidade de garantir à população de um modo geral a redução do déficit	Urbanização e Regularização de Assentamentos	Urbanização e habitação	

	habitacional, bem como promover ações preventivas e corretivas em área de risco, recuperar os assentamentos irregulares.	Revisão de Planos em Habitação e Áreas de Risco	Urbanização e habitação	Defesa civil
		Produção e melhorias Habitacionais	Urbanização e habitação	
Petrópolis ambiental	Promover ações para garantir a conservação e recuperação do Meio Ambiente. Construção de valores sociais que solidifiquem a noção de bem comum e a preservação ambiental.	Fiscalização, Recuperação e Conservação Ambiental	Meio Ambiente	
		Licenciamento Ambiental		
		Educação e Conscientização Ambiental		
Petrópolis para todos	O programa tem como objetivo promover melhoria da qualidade urbana e do acesso à cidade digna e segura, que garanta a preservação e proteção do meio ambiente e da vida por meio da ocupação e uso sustentáveis do solo e dos recursos.	Qualificação da Infraestrutura Urbana	Infraestrutura Urbana	Meio Ambiente
		Produção e Revisão de Planos de Planejamento Urbano	Urbanização e habitação	
		Elaborar Estudos e Projetos de Intervenção Urbana	Urbanização e habitação	
Cidade resiliente	Promover ações e induzir a atuação em rede dos órgãos integrante do Sistema Municipal de Defesa Civil em apoio às ações de defesa civil, em âmbito nacional e internacional, visando o Fortalecimento do SINPDEC, frente a prevenção de desastres.	Estruturação em Defesa Civil	Defesa Civil	
		Redução de Riscos de Desastres		
		Coordenação de Ações Voluntariadas		
		Prevenção de Desastres		
Cidade limpa, cidade feliz	Promover ações com eficácia e efetividade para organizar e readequar a prestação dos serviços público, visando à mobilidade urbana, a acessibilidade e o desenvolvimento.	Serviços de Saneamento e Limpeza em Espaços urbanos e Logradouros Públicos	Meio Ambiente	

Fonte: elaboração própria a partir de dados do PPA 2018-2021 do município de Petrópolis (2017c).

*O programa “Petrópolis, cidade inteligente” foi selecionado em função da natureza de política de integração do município, por isso não se encaixa diretamente em nenhuma das áreas propostas diretamente.

O PPA vigente, respectivo ao período de 2018-2021, foi incluído neste estudo para que fosse examinada a continuidade dos conceitos, programas e ações identificados no PPA anterior, principalmente quanto ao reflexo da instituição de Lei Federal nº 12.608/12 e ao impacto do distanciamento do desastre que acometeu o município em janeiro de 2011.

Nesse PPA, ocorreu uma mudança metodológica em sua estruturação desenvolvida pela Coordenadoria de Planejamento e Gestão Estratégica do município. A principal mudança foi a integração de todos os segmentos e áreas técnicas da Prefeitura de Petrópolis na construção dos Programas Temáticos. Foi feita uma divisão em quatro eixos, sendo o eixo Infraestrutura e serviços – Promoção da qualidade de vida o que abrange as ações ligadas a defesa e proteção civil. A realização de reuniões para troca de experiências e de busca articulação com os diversos setores e a elaboração da “Cartilha de elaboração do Plano

Plurianual do Município de Petrópolis” foram premissas para a realização de um plano de caráter estratégico (PETRÓPOLIS, 2017b).

Conforme as informações apresentadas no quadro 3, é identificada a inclusão da ação “Centro de Operações Petrópolis”, pertencente ao programa “Petrópolis, cidade inteligente” que demonstra uma busca pela integração intersetorial e da qualidade de vida da população. No que tange ao tema urbanização e habitação, nota-se a indicação de revisão de planos referentes a planejamento urbano, habitação de interesse social e áreas de risco. Na pauta de meio ambiente, observa-se a ideia de construção de uma consciência ambiental ligada a ações de preservação ambiental. Em relação a Defesa Civil, a inclusão do âmbito internacional demonstra que está buscando alinhamento com as diretrizes internacionais. O programa “Petrópolis para todos” foi um diferencial em relação aos demais programas por reunir ações de interação de urbanização e habitação, infraestrutura urbana e meio ambiente. O programa “Infraestrutura em espaços públicos”, similar ao programa “Serviços para desenvolvimento urbano” do PPA 2014-2017, manteve-se como o que mais possui áreas de integração.

A partir deste levantamento e classificação dos três PPA selecionados para o este trabalho, foi percebido um direcionamento relacionado com a temática de desastres no município, com a previsão de ações de prevenção e preparação desde o PPA 2010-2013. Porém, percebe-se, considerando a magnitude do evento e seus danos, que a presença desses conceitos no planejamento não foi suficiente para mitigação dos danos. Esse fato demonstra a importância do desenvolvimento das cinco ações – de prevenção, preparação, mitigação, resposta e recuperação – de forma integrada e cíclica.

O amadurecimento da Defesa Civil municipal foi constatado não só pela evolução da COMDEC para SEMPDEC em 2013 como também com a evolução e a inserção de conceitos relativos à PNPDEC nos PPA analisados. A participação popular mencionada como foco da SEMPDEC por Assumpção (2015) chegou a receber uma ação direcionada a ela no PPA de 2014-2017, sendo isso um destaque em função da característica de baixo nível de aprofundamento desse instrumento.

No que diz respeito à abordagem qualitativa, pode ser afirmado que, no planejamento municipal, foram desenvolvidas mais ações preventivas não estruturais do que estruturais. Porém, a quantidade de investimentos destinada para as ações preventivas não necessariamente acompanha essa percepção, precisando ser avaliada de forma quantitativa em estudos posteriores. Entre as ações não estruturais, foram identificadas: elaboração do Plano Diretor, Plano Local de Habitação de Interesse Social, Plano de Saneamento Urbano; revisão do Plano Municipal de Redução de Riscos de Desastres; elaboração de carta de suscetibilidade; implantação de sistema de alerta e alarme; criação do Centro de Operações, entre outros levantados após o evento de 2011 e instituição da PNPDEC. Esses podem ser considerados marcos na gestão de risco municipal em função de já incluírem em seus escopos conceitos, diagnósticos e/ou proposições relacionadas a defesa e proteção civil.

No entanto, constatou-se um atraso no que se refere a planejamento urbano em função da Lei de Uso e Ocupação do solo ainda não ter sido revisada, sendo está de 1988, necessitando que o zoneamento do território seja aprimorado, absorvendo informações importantes para RRD inseridas em instrumentos como a carta de suscetibilidade (DRM, 2011).

Em relação à campanha de Cidades Resilientes da ONU, observa-se que as ações de gerenciamento de riscos levantadas no período de recorte estão diretamente relacionadas com os 10 passos estabelecidos pela campanha com os quais o município se comprometeu em 2017.

Considerando a função do PPA de moldura legal e institucional apontada na página da Câmara dos Deputados (GONTIJO, [20--]), os conceitos e diretrizes gerais puderam ser notados, e suas modificações recentes demonstraram a evolução desse instrumento no município.

5 Conclusões

O fato de Petrópolis ser um município com um dos maiores poderios econômicos da região e possuir uma série histórica de eventos críticos gerou um cenário propício para desenvolvimento de GRD. A evolução e a atuação da SEMPDEC identificada teve um papel importante ao trabalhar de forma articulada com outras secretarias e órgãos, conseguindo conquistar reconhecimento na busca por se tornar uma cidade resiliente.

Em função do baixo nível de detalhamento necessário para a elaboração dos programas e suas ações estipulados nos PPA, constatou-se que unicamente por meio dele não foi possível identificar com clareza os trabalhos que vêm sendo realizados pela Prefeitura e Defesa Civil municipal no que se refere à GRD. Como exemplo, o planejamento de ações de prevenção a partir da visão de bacias hidrográficas não aparece nos PPA, nem a existência ou não de articulação com os municípios vizinhos sob essa ótica. A participação na campanha de cidades resilientes da UNDRR também não consta diretamente apesar de, no PPA 2018-2021, já ser citado um alinhamento internacional. A inclusão da temática da defesa e proteção civil nas escolas é uma das principais ações ligadas ao programa.

Destaca-se que Petrópolis está muito à frente no desenvolvimento de PPA em relação a municípios vizinhos, como São José do Vale do Rio Preto e Areal, que também foram acometidos pelo desastre de 2011.

Observou-se que o município vem procurando se adequar às diretrizes estabelecidas na Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012; e no que se refere às ações de prevenção, notou-se um desenvolvimento e continuidade nos planejamentos ligados a prevenção.

A incorporação no Plano Diretor do município, das indicações dos planos e dos dados das cartas de suscetibilidade desenvolvidos, posteriormente, ao mesmo, está indicada nos passos essenciais para criação de cidades resilientes e, também, nos próprios planos desenvolvidos. Essa atualização é necessária em função da dinâmica dos riscos de forma a adequar soluções urbanas aos desafios existentes mapeados.

Destarte, recomenda-se que o impacto da mudança de paradigma ocorrida no PPA 2018-2021 seja avaliado futuramente de forma a contribuir, assim como este trabalho, para o compartilhamento de experiências em prol do desenvolvimento de políticas públicas municipais.

Como o município de Petrópolis é acometido por enxurradas e inundações, é recomendado que essa visão de bacia hidrográfica e sua integração com municípios relacionados seja inserida no PPA de forma a ter uma abordagem mais completa. O encaminhamento para contratação do Plano de Gerenciamento de Risco (PGR) pela Associação Pró-Gestão Das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba Do Sul (AGEVAP) demonstra uma consolidação das diretrizes estabelecidas na PNPDEC e na Política

Nacional de Recursos Hídricos – Diretrizes essas que estão alinhadas com a necessidade de um desenvolvimento sustentável e a prevenção de riscos de desastres.

O PPA é um instrumento com grande potencial e que deve receber atenção em seu desenvolvimento pelos municípios, preferencialmente, sendo desenvolvido no arquétipo Estratégico (NASCIMENTO et al., 2020), de forma a desenvolver o planejamento municipal de forma integrada. Além disso, deve servir de base para aprendizados, controle e avaliações como consta nas diretrizes da Carta dos Tribunais de Contas (INSTITUTO RUI BARBOSA, 2020).

Destaca-se que o estudo se dedicou a explorar o planejamento, e não a verificação da consolidação de todos os planos e programas identificados; e que as conclusões referentes à constatação pela busca da resiliência de nada valem se estas não se consolidarem.

Conclui-se que todo o desenvolvimento deste estudo é um material rico para disseminação da cultura de prevenção de desastres no Brasil, por concentrar informações, conceitos, referências e casos multidisciplinares que permeiam a GRD na esfera municipal.

6 Referências

- 1) Assumpção, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes. Petrópolis: um histórico de desastres sem solução? Do Plano Koeler ao Programa Cidades Resilientes. 2015. 246 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.
- 2) Brasil. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 70, p. 1-4, 11 abr. 2012a.1) FREITAS, Carlos Machado de *et al.* Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, 2014.
- 3) Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED, UFSC, 2013.
- 4) Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Serviço geológico do Estado do Rio de Janeiro e de pesquisadores da PUC-RIO, UFRJ e UERJ. Megadesastre da serra: jan 2011. Rio de Janeiro: DRM-RJ, [2011]. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/downloads/category/13-regio-serrana.html?download=48%3Amegadesastre-da-serra-jan-2011-pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- 5) Di Gregorio, Leandro Torres *et al.* Contributions of GIDES project for sediment disaster early warnings in Brazil. International Journal of Erosion Control Engineering, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 73-84, 2019.
- 6) Gontijo, Vander. Instrumentos de planejamento e orçamento. Brasília: Câmara dos Deputados, [20--]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/orcamento-da-uniao/cidadao/entenda/cursopo/planejamento>. Acesso em: 20 jan. 2021.

- 7) Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Switzerland: IPCC, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Acesso em: 20 jan. 2022.
- 8) Instituto Rui Barbosa. Carta do VII Encontro Nacional dos Tribunais de Contas. In: ENCONTRO NACIONAL DOS TRIBUNAIS DE CONTAS, 7., 2020, online. Carta [...]. [S. l.]: IRB, 2020.
- 9) Kobiyama, Masato *et al.* Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis. Anais [...] Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. P. 834-846.
- 10) Kobiyama, Masato *et al.* Prevenção de desastres Naturais: Conceitos Básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.
- 11) Nascimento, Ingrid Cristine Rodrigues et al. Plano Plurianual com Densidade Macroestratégica na Gestão Pública Municipal: descrição e análise do processo de elaboração do PPA do município de Osasco (2018-2021). Teoria e Prática em Administração, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 12-24, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21714/2238-104X2020v10i1-48655>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- 12) Petrópolis. Coordenadoria de Planejamento e gestão Estratégica. Cartilha de elaboração do Plano Plurianual do Município de Petrópolis para o Quadriênio 2018/2021. Petrópolis: PMP, 2017b. Disponível em: <https://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/Cartilha%20PPA.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- 13) Petrópolis. Lei nº 6.716, de 22 de dezembro de 2009. Dispõe sobre o Plano Plurianual – PPA para o período 2010/2013, e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Petrópolis: Petrópolis, Câmara Municipal, ano 17, n. 3406, p. 1-26, 23 dez. 2009. Disponível em: <https://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/PPA%202010-2013.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- 14) Petrópolis. Lei nº 7.148, de 27 de dezembro de 2013. Dispõe sobre o Plano Plurianual para o período de 2014/2017. Diário Oficial do Município de Petrópolis: Petrópolis, Câmara Municipal, ano 23, n. 4377, p. 1-20, 28 dez. 2013. Disponível em: <https://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/PPA%202014-2017.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- 15) Petrópolis. Coordenadoria de Planejamento e Gestão Estratégica. Coordenadoria de Planejamento e Gestão Orçamentária. Plano Plurianual 2018-2021: diretrizes para um novo caminho. Petrópolis: PMP, 2017c. Disponível em: https://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/gestao_estrategica/ppa-versao_final.pdf. Acesso em: 15 nov. 2020.
- 16) Prevention web. UNDRR. [S. l.: s. n.], [20--]. Disponível em: www.preventionweb.com. Acesso em: 6 fev. 2020.
- 17) Nunes, Lucí Hidalgo. Urbanização e desastres naturais. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- 18) United Nations. General Assembly. Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. New York, NY, USA: UN, v. 41, 2016.

19) United Nations. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. *In*: United Nations world conference on disaster risk reduction, 3rd, 2015 March 14–18, Sendai, Japan. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reductio, 2015. 32 p.

20) United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Como Construir Cidades Mais Resilientes. Um Guia Para Gestores Públicos Locais (2005–2015). Genebra: UNDRR, 2012.

21) Vargas Hernández, Richard Alberto. Guía Municipal para la Gestión del Riesgo. Programa de Reducción de la vulnerabilidade fiscal del Estado frente a Desastres Naturales. Republica de Colombia, Bogotá: Banco Mundial, 2010.

22) Vieira, Ligia Ribeiro. A emergência das catástrofes ambientais e os direitos humanos. 2017. 216 f. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PLATAFORMAS PARA DESENVOLVIMENTO DE REGULADORES NEBULOSOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA. FUZZY REGULATOR DEVELOPMENT PLATFORMS: A REVIEW.

André Tiago Santos.

¹ Mestre Profissional em Automação e Controle de Processos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP (2017). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFSP Docente EBTT – Instituto Federal de São Paulo-IFSP - RGT. Eletroeletrônica - Mecatrônica. – Campus Registro. Rua Pedro Vicente, 625 - Canindé - São Paulo (SP). CEP: 01109-010.

andre.eng.autom@gmail.com

Resumo: Este estudo tem como objetivo discutir o emprego das ferramentas de Controle não convencionais em sistemas de automação, empregando-se a ferramenta de Inteligência Artificial, do campo linguístico, denominada Lógica Difusa (*Fuzzy*). Trata-se de uma revisão bibliográfica baseada na literatura especializada através de consulta a artigos científicos selecionados através de busca no banco de dados do Scielo, da IEEE Xplore e nos bancos de teses e dissertações. Os estudos encontrados sobre o emprego de lógica e controle nebuloso (difuso) apontaram que este modelo de controle é bem difundido e diverso em aplicações, bem como em ferramentas de desenvolvimento computacional. Ainda é necessário mais estudo sobre o emprego dessa modalidade de Controle não convencional de Sistemas, já que os métodos matemáticos resolvem bem os sistemas lineares, que são em menor quantidade, e, ainda, se empregar as ferramentas de desenvolvimento com a característica de ser do tipo código aberto.

Palavras-chave: Automação, Inteligência Artificial, Controle de Sistemas, Lógica *Fuzzy*, Revisão bibliográfica.

Abstract: *This study aims to discuss using non-conventional Control tools in automation systems, to use an Artificial Intelligence tool, from the linguistic field, called Fuzzy Logic. This is a specific review on literature, available through the consultation of selected scientific articles through research in the database of Scielo, IEEE Xplore and in thesis and dissertation repositories. The studies found on the use of logic and fuzzy control pointed out that this control model is quite different and diverse in its applications, as well as in computational development tools. Further studies are still needed on the use of this form of unconventional control of systems, since mathematical methods solve linear systems well, which are in lesser quantity, and also use development tools with open-source type service resources.*

Keywords: *Automation, Artificial Intelligence, Control Systems, Fuzzy Logic, Literature Review.*

1 – Introdução.

Grande parte dos modelos dinâmicos a ser regulados em sistemas de controle são não lineares ou possuem alguma não linearidade inerente. Neste caso, técnicas de inteligência artificial, como a de controle por meio de linguagens e percepções humanas, decerto, estão em pleno emprego para que se resolva este problema de controle. Gomide e Gudwin (1994), basicamente, relatam sobre esta técnica.

Entretanto, todas estas técnicas (convencionais de controle) não são capazes de resolver problemas reais cuja modelagem matemática é impraticável. Por exemplo, em diversas situações um volume considerável de informações essenciais só é conhecido a priori de forma qualitativa. Do mesmo modo, critérios de desempenho só estão disponíveis em termos linguísticos. Este panorama leva a imprecisões e falta de exatidão que inviabilizam a maioria das teorias utilizadas até agora. A modelagem e o controle fuzzy (controle difuso) são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa. Tais técnicas consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, tornam-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento (GOMIDE; GUDWIN, 1994, p. 97-98).

No sentido de se consolidar estudos envolvendo metodologias baseadas em lógica difusa, é de considerável relevância pesquisar os trabalhos realizados e os estudos experimentais concluídos, com resultados convergentes aos objetivos, bem como estabelecer o relacionamento entre os programas de computação usados em aplicações de Sistemas para Automação e Controle.

Este trabalho, portanto, tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre a correlação entre trabalhos experimentais e/ou de revisão realizados entre Sistemas de Automação e Controle e suas implementações com controle nebuloso, principalmente, no que tange ao emprego de ferramentas de desenvolvimento computacional para este fim.

A presente revisão está organizada da seguinte maneira: o capítulo 2 (dois) mostra os aspectos metodológicos da pesquisa e da revisão. O terceiro, os fundamentos teóricos que permeiam os conceitos, desenvolvimentos e modos de implementação do controle baseado em lógica difusa. A seção quatro retrata as pesquisas realizadas na revisão e quais plataformas foram empregadas nos desenvolvimentos. O último capítulo (nº 5) conclui tais estudos e sugere um panorama para futuras pesquisas.

2 – Metodologia.

O presente artigo foi elaborado a partir de uma revisão bibliográfica nas bases de dados: IEEE Xplore (Explorador de publicações na revista Internacional de Engenharia Eletroeletrônica), SciELO e nas bases que contemplam artigos de congressos e/ou publicações conclusivas de teses e/ou dissertações. As palavras-chave empregadas foram “Lógica difusa”, “Lógica nebulosa”, “Lógica fuzzy” e “Controle fuzzy” e seus correspondentes em inglês, bem como a combinação lógica, com operação “AND” (“e”, em inglês) com as palavras “MATLAB”, “SCILAB”, “OCTAVE”, principais plataformas em uso descritas por Arruda *et al.* (2013). Definiram-se como critérios de exclusão artigos publicados antes do ano 2000 – exceto o que trata do contexto histórico - e que não se demonstrassem artigos utilizados em aplicações destinadas a automação e controle. A pesquisa dos artigos foi realizada entre maio e junho de 2020.

A busca nos bancos de dados foi realizada utilizando as terminologias e notações de Engenharia de Automação, Controle e Automação, e de Sistemas em tópicos multidisciplinares comuns em português e inglês. As palavras-chave utilizadas na busca foram Controle difuso, Controle nebuloso e Controle *fuzzy*.

Os critérios de inclusão para os estudos encontrados foram à abordagem do emprego de Automação em processos dinâmicos, de ensaio ou não, com base na metodologia implementada. Foram excluídos estudos que relatavam o emprego de outras modalidades de implementação, que não os baseados nessa lógica.

A seguir, buscou-se estudar e compreender os principais modelos e modos de aplicação empregados nos estudos encontrados, de acordo com os parâmetros estabelecidos e as plataformas computacionais para a utilização de lógica e controle difuso, bem como o mecanismo de configuração pelos quais tal lógica atua na planta produtiva industrial e a diversidade de tais plataformas computacionais (*softwares*).

3 – Fundamentação Teórica.

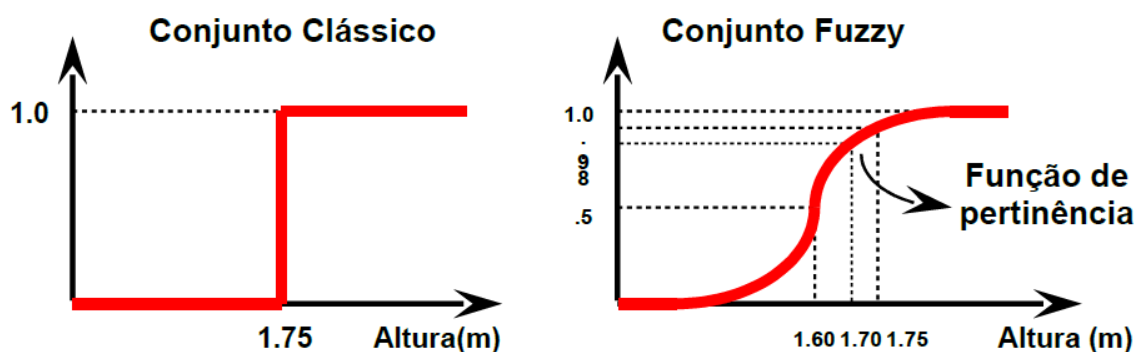
Nesta seção, apresenta-se os fundamentos teóricos da lógica nebulosa, bem como a estrutura dos controladores difusos e as principais aplicações deste método não convencional de controle de sistemas de automação.

Na teoria clássica dos conjuntos, um determinado elemento pode ser avaliado em dois estados, ou seja, pertence ou não a determinado conjunto, como, por exemplo, a avaliação de altura das pessoas altas, assumindo valores 0 ou 1, obedecendo a equação 1, como segue:

$$F(x) = 1, \text{ se é, somente se, } x \in A; 0, \text{ se é, somente se, } x \notin A. \quad \text{Equação 1.}$$

Enquanto na teoria dos conjuntos *fuzzy*, há um grau de pertinência de cada elemento assume um valor dentro do intervalo definido, entre 0 (zero) e 1 (um). A figura 1 mostra a distinção entre tais modelos de lógica.

Figura 1 – A diferença entre os conjuntos lógicos (GOMES, 2013).



A função de pertinência representa que todas as características fundamentais das ações teóricas e gráficas de sistemas *fuzzy*, ou seja, é definida como uma função numérica gráfica ou tabulada, desde que os valores tenham pertinência difusa para valores discretos de uma variável (GOMES, 2013). Os formatos de funções mais encontrados são: triângulos, trapezoidal, gaussiana e sino generalizada.

Os valores de uma variável são nome de conjuntos *fuzzy*, e estes valores são pertencentes ao conjunto nebuloso, representados por funções de pertinência. Como todo conjunto, estão submetidos aos mesmos regramentos de operações com conjuntos (União, Interseção, complementar etc.).

O raciocínio *fuzzy* é dividido em três etapas que são a difusificação (ou fuzzificação), a inferência e a dedifusificação (ou defuzzificação). Por meio destas etapas, permite-se a resolução de problemas, em especial, ao sistema de controle. Um exemplo de aplicação é o desenvolvimento de um programa responsável pelo controle de obesidade adulta usando a lógica difusa, cuja sua finalidade é retornar com o peso ideal ou saudável, de acordo com os dados fornecidos pelo usuário.

A primeira etapa do raciocínio difuso é a difusificação, que é responsável pelo mapeamento do domínio real para o domínio *fuzzy*, ou seja, é uma espécie de pré-processamento de categorias ou classes dos sinais de entrada, assim diminuindo gradativamente a quantidade de número a ser processado (SHAW, 2007).

A Inferência tem a função de simular o raciocínio humano diante da tomada de decisão baseado em conceitos difusos para executar ações de controle, empregando implicações *fuzzy* e regras de inferência nebulosas, de acordo com as proposições dos antecedentes e consequentes, resultando numa região resultante.

Na dedifusificação, o valor da variável linguística de saída inferida pelas regras nebulosas será traduzido num número e segue um método para tal. Seguem alguns métodos de dedifusificação:

- **Média dos Máximos (M-o-M):** consiste em escolher o valor médio dentre todos os pontos máximos, uma vez que a função de pertinência possui mais de um ponto máximo;
- **Método do Centro de Área (CDA):** consiste em encontrar o valor correspondente a área do gráfico da função de pertinência, também conhecida como método do Centro da Gravidade;
- **Método Média dos centros (M-d-c):** consiste em escolher os pontos máximos da função de pertinência, desconsiderando as áreas das funções de pertinência.

Os controladores difusos aplicam algoritmo de controle através de regras lógicas, para que se aplique em uma rotina a experiência acumulada, a intuição e a heurística para controlar um processo (ZADEH, 1965).

A estrutura básica de controlador nebuloso é composta por quatro elementos principais: Base de conhecimento, Difusificação, Inferência e Dedifusificação.

A base de dados provê definições numéricas relevante para a implementação das funções de pertinência e fornece as definições necessárias para definir as regras linguísticas de

controle; e, a outra é a base de regras: é responsável pelos objetivos de controle através de um conjunto de regras de regulação (GOMES, 2013).

A ilustração da Figura 2 representa a estrutura básica deste controlador implementado em uma planta de controle de processo em diagrama de blocos.

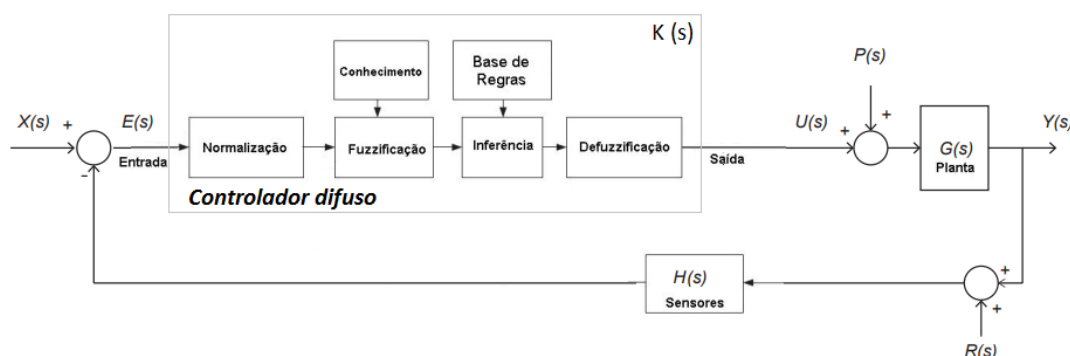


Figura 2 – Estrutura em blocos de um controlador difuso (Fonte: autoria própria).

4 – Discussões e Resultados.

Serão apresentadas, a seguir, as sínteses analíticas de alguns trabalhos que foram fundamentais na realização de tal pesquisa no sentido de se consolidar os resultados e as discussões a respeito da revisão.

Segundo o professor Zadeh (1965), um conjunto difuso é uma classe de objetos com um contínuo de graus de associação. Esse conjunto é caracterizado por uma função de associação (característica) que atribui a cada objeto um grau de associação que varia entre zero e um. As noções de inclusão, união, interseção, complemento, relação, convexidade etc. são estendidas a esses conjuntos e são estabelecidas várias propriedades dessas noções no contexto de conjuntos nebulosos. Em particular, um teorema de separação para conjuntos nebulosos convexos é provado sem exigir que os conjuntos nebulosos sejam disjuntos. Não foi utilizado recurso computacional para a implementação desta teoria.

No trabalho de Pinheiro (2000), desenvolveu-se métodos e técnicas para analisar e projetar Sistemas de controle *Fuzzy* clássicos através da técnica do domínio da frequência. Primeiramente introduziu-se um procedimento simples e intuitivo para obter a resposta em frequência de sistemas de controle difuso, a partir do conceito de funções descritivas. Este procedimento permite investigar as influências dos principais parâmetros dos controladores *Fuzzy* nas respostas dinâmicas do sistema em malha fechada. Foram propostas duas abordagens para analisar e sintonizar sistemas de controle nebuloso através de técnicas do domínio da frequência. À primeira vista, sistemas não lineares invariantes no tempo. A segunda, mais genérica, objetivou sistemas não lineares variantes no tempo com tais variações limitadas em parâmetros. Apesar de não informado o software de simulação dos exemplos mostrados na obra, um dos referenciais indica que se utilizou do MATLAB® para que se simulassem os sistemas e seus métodos para análise. Os resultados obtidos se mostraram promissores, pois, proporcionam soluções semelhantes ou melhores do que aquelas fornecidas por métodos alternativos disponíveis na literatura. As técnicas propostas são práticas e triviais no sentido de sua utilização, proporcionando, assim, um modo sistemático de análise e desenvolvimento de sistemas de controle *Fuzzy*.

Essas técnicas são particularmente eficientes na sintonia de reguladores e análise de robustez.

A tese de Caporali (2000) apresentou técnicas de projeto de controle neural e controle difuso para uma plataforma de Stewart acionada hidraulicamente. O modelo dinâmico não linear da plataforma Stewart, com seis graus de liberdade, foi desenvolvido no ambiente de sistemas multicorpos ADAMS®. Este pacote comercial foi usado para economizar tempo e esforço na modelagem de um sistema dinâmico (mecânico) complexo e na programação para obter a resposta no tempo do sistema. A plataforma de Stewart é um manipulador paralelo com alta relação força-peso e acuracidade de posicionamento, comparada a manipuladores seriais convencionais. As desvantagens dos mecanismos seriais é que cada articulação suporta o peso da articulação seguinte e mais o objeto a ser manipulado. A plataforma de Stewart tem recebido, recentemente, considerável interesse por parte dos pesquisadores dado o sucesso de suas aplicações e potenciais vantagens sobre os manipuladores convencionais. Uma aplicação popular da plataforma de Stewart é o simulador de voo onde a plataforma executa movimento com aceleração similar àquelas de uma aeronave. Embora muitas pesquisas na literatura tenham dedicado amplo esforço para cinemática dinâmica e projeto mecânico de manipuladores baseados na plataforma de Stewart, pouca atenção tem sido dada ao problema de regulação deste tipo de manipulador. Um esquema de controle difuso e de redes neurais foi adotado para lidar com as não-linearidades, distúrbios e incertezas dos parâmetros, bem como a precisão necessária no posicionamento e orientação da plataforma. Redes neurais artificiais e lógica difusa fornecem um paradigma computacional característico e tem demonstrado resultado para uma faixa de problemas práticos onde a técnica computacional convencional não tem tido sucesso. Em particular, a habilidade do controle neural e do controle difuso para representar mapeamento não-linear encoraja, nos estudos de controle neural e difuso (nebuloso), para representar problemas de controle não-linear. Resultados de simulação são apresentados, mostrando o que as técnicas empregadas e propostas podem ser utilizadas na plataforma de Stewart. Tal sistema de controle foi modelado e simulado na plataforma MATLAB®/Simulink.

O artigo proposto por Chuan *et al.* (2004) apresentou o desenho e implementação de uma caixa de ferramentas de lógica difusa baseada no Scilab (um pacote científico abrangente distribuído, livremente, pelo INRIA - *Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique*, Instituto Nacional de Pesquisas em Informática e Automação – tradução livre), que permite ao usuário resolver seu problema de controle usando lógica difusa com muito pouco esforço. A caixa de ferramentas da lógica difusa é escrita na linguagem Scilab e no Tcl/Tk (uma linguagem script de plataforma cruzada). Fornece funções completas para inferência, um gráfico fácil de usar editor para construir modelos complexos de sistemas lógicos nebulosos, e um simulador para Scicos. Aplicações de lógica difusa em sistemas controle e uso da caixa de ferramentas são ilustrados por um simples exemplo, que é um controle de temperatura de um chuveiro elétrico.

A obra de Palácio-Gómez *et al.* (2010) afirma que a lógica difusa é uma ferramenta para tomar decisões. No início, foi concebido como um conceito matemático com o único objetivo de usar dados numéricos e termos da linguagem oral para representar o modo regular de pensamento qualitativo. Essa ferramenta é usada com eficiência para controlar variáveis físicas, como temperatura e umidade, que se ajustam ao conjunto de regras dessa lógica. No trabalho empírico destes autores, foi apresentado o projeto e a implementação de um controle de temperatura que utiliza a lógica nebulosa como ferramenta para a tomada de decisões. A temperatura é mantida em um valor predefinido na faixa de 30 a

100 graus Celsius. O núcleo do sistema é um microcontrolador PIC 16F877A, que é conectado a um computador pessoal para monitorar e estabelecer em tempo real a temperatura do sistema controlado, em uma interface gráfica desenvolvida com *software* JAVA®. Não foi identificada, neste trabalho, a plataforma computacional para controle do sistema. Deste modo, mesmo com o amplo desenvolvimento de sistemas clássicos de controle PID, o uso do controle difuso se torna válido no desenvolvimento de sistemas de baixo custo e/ou computacionais. Esses sistemas permitem sua implementação com o uso de sistemas microcontrolados de 4 ou 8 bits, o que os torna muito compactos e com preços diminutos.

O artigo de Bandarra Filho *et al.* (2011) relatou uma investigação experimental usando controle adaptativo em um sistema de refrigeração. Este sistema é composto basicamente por um compressor semi-hermético, trocadores de calor de tubos concêntricos, condensador e evaporador e válvula de expansão termostática (TXV - *thermostatic expansion valve*). O refrigerante usado no sistema de refrigeração foi o HCFC-22 e também foi utilizado um inversor de frequência CA para controlar a velocidade do compressor. As temperaturas foram medidas por sensores Pt-100 e as pressões usando transdutores de pressão piezo resistivos. A aquisição de dados foi implementada usando o *software* Labview, da National Instruments®. Também foi utilizada uma placa eletrônica com saída de sinal analógico. Esses sinais analógicos foram convertidos em digitais através de um controlador lógico programável (CLP) e depois enviados ao computador através de uma porta serial do PC. Os testes foram realizados com um compressor de velocidade variável na faixa de 30 a 70 Hz e os resultados experimentais mostraram que o maior desempenho do sistema foi alcançado trabalhando na faixa de 50 Hz, usando controle difuso adaptativo.

O trabalho de Wu *et al.* (2012) desenvolveu um robô de auto equilíbrio de duas rodas com um método de controle PD (Proporcional-Derivativo) difuso é descrito e analisado como um exemplo de sistema de alta ordem, múltiplas variáveis, não-linear, acoplamento forte e instável. Com base em um modelo de estrutura de sistema, uma equação cinética foi construída usando a dinâmica e a mecânica newtonianas. Após várias experiências de simulação, obteve-se as melhores matrizes, segundo o método LQR (*Linear Quadratic Regulator* – Regulador Linear-Quadrático, tradução livre) e realimentação de estado. Em seguida, um controlador PD difuso foi projetado para o qual a posição e a velocidade do robô são entradas e para as quais o ângulo e a taxa de ângulo do robô são controlados por um controlador PD. A simulação foi realizada na plataforma MATLAB®, no módulo de simulação *Simulink* e a implementação foi desenhada pela Googol Tecnologia Limitada. Por fim, este artigo descreveu uma plataforma de controle em tempo real para o robô de autobalanceamento de duas rodas que controlam o robô, efetivamente, após algumas depurações de parâmetros. Desta forma, o resultado indicou que o algoritmo de controle PD difuso foi obtido com êxito o controle auto balanceado do robô de duas rodas e impediu que o robô caísse.

O artigo de Rohini e Jamuna (2016) visou melhorar o desempenho dinâmico do sistema fotovoltaico (PV – *Photovoltaic*, em inglês) disponível e maximizar a potência obtida com o uso de conversores em cascata com técnicas de controle inteligentes. A técnica de ponto de potência máxima baseada na lógica difusa foi incorporada no primeiro estágio de conversão para obter a potência máxima do painel fotovoltaico disponível. A cascata do segundo conversor foi necessária para manter a tensão do terminal no potencial da rede. A região de comutação suave do conversor de três estágios foi aumentada com a estratégia de controle baseada em loop de fase bloqueada (*Phase Locked-Loop* - PLL) proposta. A estratégia proposta levou à redução do conteúdo de

ondulação, classificação de componentes e perdas de comutação. A matriz fotovoltaica foi modelada matematicamente e o sistema foi simulado e os resultados foram analisados. O desempenho do sistema foi comparado com os algoritmos de rastreamento de ponto de potência máxima existentes. Os autores se esforçaram para obter potência máxima e confiabilidade aprimorada para a mesma insolação do sistema fotovoltaico. Tal sistema foi simulado no *software* MATLAB®/Simulink, e, não informado nem relatado em qual interface computacional foi realizado. Os resultados de *hardware* do sistema também foram discutidos para provar a validade dos resultados da simulação. Assim, o modelo desenvolvido foi usado com eficiência para rastrear a potência máxima usando o FLC (*Fuzzy Logic Control*). O conteúdo de ondulação foi minimizado e a região de comutação suave foi aumentada pela incorporação de PLL. Com esse arranjo, é alcançada uma melhor resposta transitória e é obtida uma eficiência de 97,35%.

O trabalho de Jesus e dos demais (2016) retrata que, as indústrias, na atualidade, buscam criar condições seguras para suas atividades de controle em áreas que demandam segurança e preservação do meio ambiente, sem expor o ser humano e o patrimônio material a riscos desnecessários em seus sistemas instrumentados de segurança. Surge-se uma condição para propor opções de ajustamento automático com condições de implantação de sistemas de controle adaptativo com o objetivo de melhorar o desempenho, estabilidade e segurança destes sistemas. O trabalho não apresenta em qual base computacional foram simulados e/ou desenvolvidos os testes do sistema, no entanto, os resultados foram apresentados. Conclui-se que, nas simulações, a planta não atingiu as condições de shutdown em resposta às condições críticas de teste de sobrepressão e de sobre temperatura e apresentou-se os resultados de um projeto e a análise de sistemas instrumentados de segurança que em condições de falha ou defeito não levam a planta a parada ou bloqueio dos seus sistemas operacionais.

O trabalho de Alzubi *et al.* (2020) retrata que, na maioria das aplicações de controle difuso (aplicando o raciocínio difuso clássico), o método de raciocínio requer uma base de regras difusa completa, ou seja, todas as observações possíveis devem ser cobertas pelos antecedentes das regras difusas, que nem sempre estão disponíveis. Os sistemas de controle difuso baseados no conceito de Interpolação de regras difusas (FRI) desempenham um papel importante em diferentes plataformas, caso apenas uma base de regras difusa esparsa esteja disponível. Nesse caso, o modelo difuso contém apenas as regras mais relevantes, sem cobrir todos os universos antecedentes. A primeira caixa de ferramentas da FRI capaz de lidar com diferentes métodos de FRI foi desenvolvida por uma equipe comandada por Johanyak, em 2006, para o ambiente MATLAB. O objetivo deste artigo é apresentar alguns detalhes da adaptação da caixa de ferramentas da FRI para suportar a linguagem de programação GNU/OCTAVE. A caixa de ferramentas OCTAVE *Fuzzy Rule Interpolation* (OCTFRI) é uma caixa de ferramentas de código aberto para a linguagem de programação OCTAVE, fornecendo um grande subconjunto funcionalmente compatível da caixa de ferramentas MATLAB FRI, além de várias extensões. A OCTFRI Toolbox inclui funções que permitem ao usuário avaliar os Sistemas de Inferência Fuzzy (FISs) na linha de comando e nos scripts OCTAVE, ler/gravar FISs e *Scripts* em/de arquivos e produzir uma visualização gráfica das funções de associação e do FIS. saídas. O trabalho futuro se concentrará na implementação de técnicas avançadas de inferência difusa e ferramentas da GUI. A OCTFRI Toolbox inclui funções que permitem ao usuário avaliar os Sistemas de Inferência Fuzzy (FISs) na linha de comando e nos scripts OCTAVE, ler/gravar FISs e *Scripts* em/de arquivos e produzir uma visualização gráfica das funções de associação e das saídas FIS. O trabalho futuro se concentrará na implementação de técnicas avançadas de inferência difusa e ferramentas da GUI. A OCTFRI Toolbox inclui

funções que permitem ao usuário avaliar os Sistemas de Inferência *Fuzzy* (FISs) na linha de comando e nos scripts OCTAVE, ler/gravar FISs e *Scripts* em/de arquivos e produzir uma visualização gráfica das funções de associação e do FIS. saídas. O trabalho futuro se concentrará na implementação de técnicas avançadas de inferência difusa e ferramentas da Interface Gráfica do Usuário.

Portanto, em razão de se empregar os conceitos de Lógica e Controle nebuloso, tais trabalhos descrevem implementações de diversas arquiteturas para procedimentos de regulação em sistemas de controle e/ou de segurança, bem como plataformas computacionais de programação da Lei de Controle linguística diversas, tanto de desenvolvimento detalhado como as desenvolvidas para configuração das bases de conhecimento e regras de inferência. No entanto, poucos destes programaram, de fato, aplicação em que se dispusesse um *software* de código-fonte aberto em que se efetivam os procedimentos de Sistemas de Controle de Processos Dinâmicos com tal lógica (dentre nove – 9, apenas dois – 2, neste espectro). Deste modo, evidencia-se a necessidade de tal construção, desenvolvimento, implementação e homologação no sentido de se apreender os modos de operação nestas plataformas.

5 – Conclusão.

Ao analisar as pesquisas revisadas, percebe-se que há um consenso entre os autores na concordância entre a metodologia e as aplicações de engenharia de controle e, de maneira geral, os componentes de atuação nos Sistemas, destarte, terem utilizado abordagens distintas, diferenciadas, ressaltando a importância do trabalho com controle linguístico nebuloso.

Nos estudos analisados, os autores não descreveram sobre a concepção de controle clássico somente (P, PI, PD, PID), mas, com emprego de dispositivos controladores baseados em lógica difusa de maneira a se combinar estes métodos.

Nesse contexto, grande parte dos pesquisadores usaram a plataforma MATLAB® (quatro dentre nove), e os demais usaram outras plataformas de código-fonte aberto e, ou, não informaram qual (ou quais) plataformas foram empregadas e, ou, desenvolveu-se o código para a implementação da Lei de Controle linguística (SCILAB e/ou OCTAVE, p.e.).

As identificações de componentes para controles automáticos empregados nos trabalhos dão importantes contribuições para que os projetistas e engenheiros de diversas áreas que estão envolvidos diretamente com tais modelagens de Sistemas de Controle baseados em lógica *fuzzy* em razão de seu dimensionamento.

Com base na revisão apresentada, pode-se afirmar que poucos estudos têm sido realizados com *softwares open-source*, e, que cada pesquisador utilizou uma metodologia de implementação *fuzzy* distinta em termos de aplicação.

Salienta-se, não obstante, a importância de realizar outras pesquisas sobre este tema para que os desenvolvedores tenham pleno conhecimento técnico sobre as plataformas disponíveis e possam implementar, de modo assertivo, demais desenhos de tais sistemas com a lógica proposta, principalmente na ocorrência de que estas sejam de código aberto.

Referências:

- ALZUBI, Maen; ALMSEIDIN, Mohammad; LONE, Mohd Aaqib; KOVACS, Szilveszter. *Fuzzy Rule Interpolation Toolbox for the GNU Open-Source OCTAVE*. Disponível em: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1912/1912.04999.pdf>. Acesso em: 25 maio 2020.
- ARRUDA, Dayse Mourão; ABUD; Gabriel Moreira Dias; PONTES; Felipe Arruda; OLIVEIRA, Bruno Barcellos Farias de. *Análise comparativa de ferramentas computacionais para modelagem de lógica fuzzy*. Simpósio de Excelência e Gestão em Tecnologia. Out., 2013.
- BANDARRA FILHO, Enio Pedone; GARCIA, Francisco E. Moreno; MENDOZA, Oscar S. Hernandez. *Application of Adaptive Control in a Refrigeration System to Improve Performance*. Revista ABCM. v. 23, n. 2. abr.-jun., 2011.
- CAPORALI, Alexandre Simião. *Estratégias de controle não convencional para uma plataforma de Stewart controlada hidraulicamente*. São Carlos, 2003. 201 p. Tese de doutorado da escola de engenharia mecânica de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2003.
- CHUAN, Feng; ZENGQI, Sun; LING, Su. *Design and Implementation of Scilab Fuzzy Logic Toolbox*. Simpósio Internacional - IEEE – Projetos de Sistemas de Controle Auxiliados por Computador. Taipei. Set. 2004.
- GOMES, Samantha Silva. *Desenvolvimento e análise de resultados entre os controladores PID e Fuzzy para o controle da temperatura da planta piloto didática SMAR (PD3) utilizando a estratégia Feedback*. Monografia (Engenharia de Controle e Automação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campus Campos Centro, 2013.
- GOMIDE, Fernando Antônio Campos; GUDWIN, Ricardo Ribeiro. *Modelagem. Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy*. Revista SBA, v. 4, n. 3. set. – out., 1994.
- JESUS, José Adilson Silva de; DA COSTA, Eduardo Alves; FERREIRA, Graziella Santos. *Controle VSI-MRAC Aplicado a Sistemas Instrumentados de Segurança – SIS*. Revista Semana Acadêmica. Ed. 98, v. 1, 2016. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/controles_adaptativos_aplicados_e_m_sistemas_instrumentados_de_seguranca.1.pdf. Acesso em: 1º jun. 2020.
- PALACIO-GÓMEZ, C.; GARCÍA-SUCERQUIA, J. *Control de Temperatura Utilizando Lógica Difusa Temperature Controller by Using Fuzzy Logic*. Revista Colombiana de Física, Medellin, 2010.
- PINHEIRO, Carlos Alberto Murari. *Análise e projeto de sistemas de controle fuzzy: Uma abordagem no domínio da frequência*. Tese de doutorado da Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação. 2000. 141 p.
- ROHINI, G.; JAMUNA V. *PLL Based Energy Efficient PV System with Fuzzy Logic Based Power Tracker for Smart Grid Applications*. Revista: *The Scientific World Journal*. 2016. 20 p.
- SHAW, I. S.; SIMÕES M. G. *Controle e Modelagem Fuzzy*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2007.
- WU, Junfeng; ZHANG, Wanying; WANG, Shengda. *A Two-Wheeled Self-Balancing Robot with the Fuzzy PD Control Method*. Revista *Mathematical Problems in Engineering*. 2012. 13 p.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and control*, vol. 8 (1965), pp. 338–353.

Tratamento de Água de Esgotos Para Fins Não Potáveis Pelo Uso de Raízes

¹ Cristian Pimentel de Souza, ²Cassia Maria Soares de Paulo da Silva, ³Carlos Eduardo Guarido,⁴
Paula Fernanda Chaves Soares

¹Aluno do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil^{2,3,4,5} Professor Engenharia Civil

^{2,3,4,5} Curso da Engenharia Civil Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu - RJ

³cassiadepaulo@hotmail.com, carlosguarido@globo.com, pfernanda07@gmail.com

Resumo. O Sistema de tratamento de águas de esgoto por Zona de Raízes utiliza plantas para o tratamento de águas residuais. A degradação das substâncias poluidoras contidas na água ocorre através da simbiose entre plantas, solo e/ou substrato artificial e microorganismos. A função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato através de rizomas e possibilitar o desenvolvimento de uma população densa de microorganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água. Toda a água tratada e polida pela Zona de Raízes pode ser 100% reciclada. Além de economicamente viável, a implantação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por meio de zona de raízes pode ser empregada como uma ferramenta de apoio para propostas de educação ambiental, para demonstrar a importância da preservação da qualidade da água que pode trazer benefícios sociais, econômicos e ambientais a população. Quando as tecnologias são desenvolvidas abordando esses benefícios, estas podem tornar-se um instrumento eficaz para o desenvolvimento sustentável de um processo de gestão local. Coletar e tratar o esgoto de áreas rurais ou de pequenos municípios mais afastados dos grandes centros é hoje um dos maiores entraves à universalização do saneamento básico no Brasil. No entanto, existem técnicas simples, relativamente baratas e ecologicamente corretas que ajudam a minimizar o impacto ambiental e reduzir o risco de doenças provocadas pelos dejetos lançados in natura nos rios. As estações de tratamento de esgoto (ETEs) por zona de raízes são um exemplo disso. Neste caso, plantas fazem a filtragem do efluente antes de lançá-lo na natureza.

Palavras-Chave: Saneamento, ETEs, Zona de Raízes

Abstract. The Root Zone Sewage Treatment System uses plants for the treatment of wastewater. The degradation of polluting substances contained in water occurs through the symbiosis between plants, soil and/or artificial substrate and microorganisms. The main function of plants is to supply oxygen to the soil/substrate through rhizomes and enable the development of a dense population of microorganisms, which are ultimately responsible for removing pollutants from the water. All water treated and polished by the Roots Zone can be 100% recycled. In addition to being economically viable, the implementation of the Sewage Treatment Station (ETE) through the root zone can be used as a support tool for environmental education proposals, to demonstrate the importance of preserving water quality that can bring benefits. social, economic and environmental benefits to the population. When technologies are developed addressing these benefits, they can become an effective instrument for the sustainable development of a local management process. Collecting and treating sewage from rural areas or small municipalities further away from large centers is today one of the biggest obstacles to universal basic sanitation in Brazil. However, there are simple, relatively cheap and ecologically correct techniques that help to minimize the environmental impact and reduce the risk of diseases caused by waste discharged in natura into rivers. Sewage treatment plants (ETEs) by root zone are an example of this. In this case, plants filter the effluent before releasing it into nature.

Keywords: Sanitation, ETEs, Root Zone

1 Introdução

A água é um bem essencial à vida e à sobrevivência dos seres vivos, mas um bem escasso que necessita ser racionado e reaproveitado, havendo vários métodos para tratar a água para consumo humano e as águas residuais, resultantes dos esgotos. A falta de tratamento de esgoto e efluentes industriais gera um círculo vicioso: elevados custos da saúde 70% das doenças tem origem de veiculação hídrica mais de 20 crianças morrem por dia por falta de saneamento básico no Brasil (a grande vítima desse processo é a classe pobre), inibindo a competitividade dos setores produtivos.

É possível afirmar que o maior desafio da humanidade para o século XXI é garantir a disponibilidade de água não só para a dessedentação dos seres vivos, mas também para a produção de alimentos. Portanto, a água é a fonte da vida por excelência. Nesse sentido, é fundamental não só o suprimento de água, que tem sua origem no ambiente natural, o qual deve ser preservado a qualquer custo, mas também garantir que ela quando usada seja tratada antes de sua devolução para os mananciais.

Os sistemas com plantas são eficientes porque o processo de degradação da matéria orgânica (mineralização, nitrificação, desnitrificação) é muito completo, devido à grande biomassa. Além disso, são removidos não só a carga orgânica como também nutrientes (por exemplo, Fósforo e Nitrogênio) que levam a eutrofização das águas, elimina patógenos como coliformes, e substâncias inorgânicas como fenóis e metais pesados. Sistemas com plantas podem ser, se desejável, configurados como elementos de Paisagismo Ambiental (Biótopos, por exemplo), em forma de jardins ou parques. A função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato através de rizomas e possibilitar o desenvolvimento de uma população densa de microorganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água.

Toda a água tratada e polida pela Zona de Raízes pode ser 100% reciclada. No Brasil, embora o problema de abastecimento de água tenha sido resolvido satisfatoriamente, atingindo cerca de 80% da população, os sistemas de esgoto cobrem menos de 50% dessa população (IBGE, 2000).

Os Tanques de Zona de Raízes constituem-se em um leito cultivado no qual as águas residuárias entram em contato com as raízes de plantas que promovem a liberação de oxigênio e favorecem o desenvolvimento de bactérias que fixam nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) para a síntese vegetal, proporcionando redução da carga orgânica dos efluentes. Assim, este sistema de tratamento de esgoto doméstico, pode evitar a poluição das águas superficiais e subterrâneas, e possibilitar o reuso de águas, utilizando os efluentes tratados para demandas não potáveis. Além disso, os leitos cultivados construídos são unidades de tratamento que tentam reproduzir sistemas biológicos naturais, dispensam o consumo de energia elétrica, reagentes químicos e equipamentos mecânicos, além de não gerarem odores desagradáveis.

É indiscutível que a falta de tratamento de esgotos sanitários é considerada um grave problema ambiental à população brasileira e ao governo. No Brasil, segundo o IBGE, 85% (2011) das residências brasileiras possuem os serviços de tratamento e distribuição de água. No entanto, apenas 56% (2011) das residências brasileiras têm acesso à coleta de esgoto, ou seja, cerca de 90 milhões de pessoas não possuem coleta ou tratamento de tais efluentes. A qualidade e o acesso aos serviços de saneamento estão diretamente relacionados à saúde pública (LEMES, 2008). Água encanada e tratada é considerada um grande benefício para as comunidades, mas, no caso desse serviço não ser acompanhado do correto tratamento, existe a possibilidade de acarretar doenças à saúde da população (LEMES, 2008).

O lançamento de esgoto sem tratamento nos corpos d'água é responsável por 90% da contaminação hídrica (KRESSE, 1997). Por consequência de tal ação, podem aparecer inconvenientes, como o desprendimento de maus odores, presença de sabor na água potável, mortandade de peixes e ameaça à saúde pública. Sendo assim, a busca por tecnologias alternativas e de menor custo para tratamento de efluentes é de suma importância. Nesse cenário, tem se mostrado eficaz o tratamento por zona de raízes pelo fato de esses sistemas poderem ser implantados no local onde o esgoto é gerado, serem facilmente operados, economizarem energia e

serem mais flexíveis e menos susceptíveis a variações nas taxas de aplicação de esgoto (BRIX, 1993).

Outro aspecto positivo do sistema é a ausência da produção de lodo, o que muitas vezes provoca mau cheiro (secagem lenta) com alto custo (secagem mecânica); na zona raízes, o mau cheiro é evitado porque as próprias raízes funcionam como um filtro, eliminando-o (VAN KAICK, 2002). Os primeiros estudos com sistema de zona de raízes ou também conhecido por Wetlands construídos de fluxo vertical, foram realizados na década de 70 na Alemanha, e eram denominados inicialmente como Max Planck Institut Process, e a concepção de tratamento é análoga aos filtros de areia, e o esgoto precisa passar antes pela fossa séptica para depois ser lançado por meio de tubulações perfuradas na área plantada do filtro, ou seja, na zona de raízes plantada em cima de um filtro físico composto por um material de suporte como cascalho ou pedra britada areia grossa (PHILIPPI, 1997; VAN KAICK, 2002).

As plantas, independentemente do gênero a que pertençam, devem ter no mínimo características básicas como: aerênquimas bem desenvolvidos (Figura 1a) no caule e raízes que devem ser em forma de cabeleira (Figura 1b). O autor Seitz (1995) e documentos do IWA(2000) aconselham que as plantas, além de apresentarem as características descritas, devem ser de preferência nativas da região ou da área de instalação da ETE, por estarem adaptadas às condições climáticas do local da instalação das ETEs.

Figura 1: Características básicas das plantas para serem utilizadas: a) aerênquima bem desenvolvido da planta *crinum* spp., e b) as raízes em forma de cabeleira.



Autor: ARTEN, A. R.

2 Metodologia

Inicialmente foi feita revisão de literatura, com base na bibliografia disponível no âmbito dos estudos do tratamento de esgoto por zona de raízes, o que incluiu artigos científicos publicados em revistas, trabalhos para conclusão de curso, bem como dissertação de mestrado que têm como alvo de estudos o tema proposto. Para desenvolvimento do projeto, inicialmente, foi montada uma planta piloto numa caixa box de plástico de 30cmX50cmX20cm (Figura 2), que contém, de baixo para cima, camadas de pedra brita fina e areia. Em cima dessas camadas foram inseridas macrófitas (plantas de áreas alagadas), que fazem o trabalho em simbiose com bactérias aeróbicas. Esta, por sua vez,

decompõe as partículas orgânicas junto às raízes utilizando o oxigênio captado do ar pelas próprias plantas.

Figura 2



Fonte: O Autor

Em seguida, foi coletado 5 litros de esgoto, de odor desagradável e água turva, devido aos diversos esgotos jogados nesse efluente do Rio Jequiá, na rua Ericeira próximo ao número 16, Jardim Carioca, Ilha do Governador RJ (Figura 3).

Figura 3



Fonte: O Autor

Em seguida adicionou-se o esgoto coletado à caixa box piloto, e esta foi colocada num suporte construído artesanalmente (figuras 4 e 5), para que pudesse observar o líquido que percorria verticalmente, passando por essas camadas de substratos diferentes que estão densamente entremeadas por raízes da planta escolhida (Capim Santa Fé).

Figura 4



Figura 5



Fonte: O Autor

Os passos finais foi a observação da filtração dessa água e a comparação entre o efluente que entra e o que sai da ETE por zona de raízes (figuras 6 e 7)

Figura 6



Figura 7



Fonte: O Autor

3 Resultados

Os Tanques de Zona de Raízes constituem-se em um leito cultivado no qual as águas residuárias entram em contato com as raízes de plantas que promovem a liberação de oxigênio e favorecem o desenvolvimento de bactérias que fixam nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) para a síntese vegetal, proporcionando redução da carga orgânica dos efluentes. Assim, este sistema de tratamento de esgoto doméstico, pode evitar a poluição das águas superficiais e subterrâneas, e possibilitar o reuso de águas, utilizando os efluentes tratados para demandas não potáveis. Além disso, os leitos cultivados construídos são unidades de tratamento que tentam reproduzir sistemas biológicos naturais, dispensam o consumo de energia elétrica, reagentes químicos e equipamentos mecânicos, além de não gerarem odores desagradáveis. Pelo ensaio realizado primeiramente observa-se que a água percorre verticalmente, passando por essas camadas de substratos diferentes que estão densamente entremeadas por raízes da planta escolhida. Os passos finais foi a observação da filtração dessa água e a comparação entre o efluente que entra e o que sai da ETE por zona de raízes, de acordo com a figura 6 e 7, onde a garrafa esquerda é o efluente bruto e direito o efluente tratado.

4 Conclusão

Além de economicamente viável, a implantação da ETE por meio de zona de raízes pode ser empregada como uma ferramenta de apoio para propostas de educação ambiental, sendo esta utilizada para demonstrar a importância da preservação da qualidade da água que pode trazer benefícios sociais, econômicos e ambientais a população. O desenvolvimento sustentável começa a ser alcançado quando as questões básicas da sociedade começam a ser solucionadas. Dentre as questões básicas, uma das mais relevantes está relacionada ao saneamento básico, podendo vir a contribuir para amenizar um dos gargalos do desenvolvimento sustentável - que é a falta de saneamento básico, e trazer uma melhor qualidade de vida para as populações carentes destes serviços. Esta possibilidade na melhoria da qualidade de vida por meio da oferta de saneamento adequado, viabiliza uma nova perspectiva para o desenvolvimento de outros setores, incrementando o potencial econômico e ambiental local.

5 Agradecimentos

A Universidade Iguaçu pela oportunidade desta pesquisa, através do Programa de Iniciação Científica, ao incentivo da Coordenadora do Curso de Engenharia Civil – Prof.^a M.Sc. Gisele Dornelles Pires e a Auxiliar Administrativa da FACET- Bloco M - Patrícia Peixoto Tavares da Silva.

6 Referências Bibliográficas

BRIX, H. **Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance**. In: MOSHIRI, G.A. (Ed.) *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton: CRC Press, p. 9-23,1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Atlas do Saneamento** 2011.

KRESSE, K. **Água potable y saneamiento: Los avances en los últimos años son insuficientes**. Desenvolvimento e Cooperação. Berlin, n. 2, p.26-29,1997.

LEMES, J.L.V.B.; SCHIRMER, W.N.; CALDEIRA, T.V.; VAN KAICK, T.V.; ABEL, O.; BÁRBARA, R. **Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes, em comunidade rural**. Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 169-179, abr./jun. 2008.

VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes:** uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

VAN KAICK, T. S. **Jardim Ecológico- Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes:** Análise e Comparação da Eficiência de uma Tecnologia de Saneamento Apropriada e Sustentável. VI Semana de Estudos de Engenharia Ambiental. -Campus Irati. 02 a 05 de junho 2008

ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DO MONITORAMENTO CLIMÁTICO E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR E IMPACTOS NOS MUNICÍPIOS DA BAIXADA FLUMINENSE MESQUITA, NILOPOLIS E BELFORD ROXO/RJ

Amanda de Paiva Pimenta da Silva¹; Gisele Dornelles Pires²; Fabricio Polifke da Silva³

¹ Discente do Programa de Iniciação Científica ² Professor da Graduação em Engenharia Civil

^{1,2} 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

³ Professor do Departamento de Meteorologia – Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemática e da Natureza Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ

amandapaivapimenta@gmail.com¹, eng.gisele.pires@gmail.com², fabriciopolfke@igeo.ufrj.br³

Resumo-A crescente urbanização das cidades a grande variedade de sistemas construtivos e padrões de urbanização aliado as mudanças climáticas ocasionada pelas ações do homem. Levam a crescente necessidade de levantamento de padrões e dados para análise para elaboração de políticas públicas e prevenção de risco ao meio ambiente e a saúde da população. As geotecnologias agregam técnicas e tecnologias capazes de auxiliar a identificação e análise de dados de forma sistêmica e gráfica. A ilha de calor consiste em um fenômeno que leva ao aumento de temperatura nos centros urbanos, principalmente nas regiões mais densamente ocupadas e povoadas das cidades, em relação às áreas mais afastadas do centro, próximas ao entorno. Isso ocorre pois os materiais utilizados na construção civil são capazes de armazenar calor, principalmente ao evitar a reflexão de radiação infravermelha; ainda as áreas mais povoadas e menos arborizadas naturalmente apresentam temperatura elevada, devido à concentração humana e outros fatores geradores de calor, como as indústrias, os veículos a combustão e as residências, mesmo durante a noite. Este trabalho tem por finalidade apresentar o uso do sensoriamento remoto para estimar e analisar através das imagens de satélite, a temperatura de superfície como fonte de informações para definições de política pública para mitigação dos efeitos de ilhas de calor no clima urbano nas cidades. O presente estudo realizou o levantamento do estudo Monitoramento Climático e Identificação de Ilhas de Calor Município de nos Municípios de Mesquita, Nilópolis e Belford Roxo no estado do Rio de Janeiro utilizando geoprocessamento Aplicado.

Palavras-chave: Ilhas de Calor, Clima, Geotecnologias, Geoprocessamento, cidades.

Abstract- The growing urbanization of cities, the wide variety of construction systems and urbanization patterns combined with climate change caused by human actions. They lead to the growing need to survey standards and data for analysis for the elaboration of public policies and risk prevention to the environment and the health of the population. Geotechnologies aggregate techniques and technologies capable of assisting in the identification and analysis of data in a systemic and graphic way. The heat island consists of a phenomenon that leads to an increase in temperature in urban centers, especially in the most densely occupied and populated regions of cities, in relation to areas further away from the center, close to the surroundings. This occurs because the materials used in civil construction are capable of storing heat, mainly by avoiding the reflection of infrared radiation; even the most populated and less wooded areas naturally present high temperature, due to human concentration and other heat generating factors, such as industries, combustion vehicles and homes, even at night. This work aims to present the use of sensing to estimate and analyze, through satellite images, surface temperature as a source of information for public policy definitions to mitigate the effects of heat islands on urban climate in cities. The present study carried out a survey of the study Climate Monitoring and Identification of Heat Islands Municipality of in the Municipalities of Mesquita, Nilopolis and Belford Roxo in the state of Rio de Janeiro using Applied geoprocessing.

Keywords: Heat Islands, Climate, Geotechnologies, Geoprocessing, cities.

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. (“Carliane Cunha Moura UFMA EIXO2”) A percepção das diferenças térmicas entre áreas urbanas e áreas rurais remonta a época dos romanos. Nas grandes cidades, faz mais calor e chove um pouco mais do que nas áreas rurais circunvizinhas. (“DETERMIAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE O ... - UFPE”) 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). (“Análise do desconforto térmico causado pela ilha de calor ...”) Essa tecnologia é utilizada nos centros urbanos, pois os mesmos são grandes modificadores do clima. (“(PDF) Integração entre SR e SIG para a ... - ResearchGate”)

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.



Figura 1: Refletividade de materiais urbanos (modificado - Baptista, 2003).

2 Área de estudo

Para este estudo foram analisadas as regiões dos municípios de Nilópolis, Belford Roxo e Mesquita na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

Nilópolis é um município do Estado do Rio de Janeiro. O município se estende por 19,4 km² e contava com 162.485 habitantes no último censo. A densidade demográfica é de 8 379,8 habitantes por km² no território do município. Vizinho dos municípios de Mesquita, Rio de Janeiro e São João de Meriti, Nilópolis se situa a 3 km a Sul-Leste de Mesquita. "Situated a 33 metros de altitude, de Nilópolis tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 22° 48' 31" Sul, Longitude: 43° 24' 52" Oeste." ("O município de Nilópolis - Informações sobre os ...") Área da unidade territorial [2019] 19,393 km², Esgotamento sanitário adequado [2010] 98,7 %; Arborização de vias públicas [2010] 70,4 % Urbanização de vias públicas [2010] 91,3 %.

Mesquita é um município da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, no estado do Rio de Janeiro, no Brasil. Emancipou-se em 1999 do município vizinho de Nova Iguaçu, sendo o município mais novo da Baixada Fluminense e do estado do Rio de Janeiro. Sua população estimada pelo IBGE no ano de 2020 foi de 176.569 habitantes [2][4]. Área da unidade territorial [2019] 41,169 km²; Esgotamento sanitário adequado [2010] 93,3 %; Arborização de vias públicas [2010] 62,4 % Urbanização de vias públicas [2010] 62,3 %.

Belford Roxo é um município brasileiro da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, no estado do Rio de Janeiro. Está localizado a norte da capital do estado distando desta cerca de 20 km, e estende-se por uma área de cerca de 79 km². Área da unidade territorial [2019] 78,985 km² Esgotamento sanitário adequado [2010] 81,4 % Arborização de vias públicas [2010] 35,1 %; Urbanização de vias públicas [2010] 38,1 %.

Objetivos

Este trabalho teve por finalidade estimar e analisar através das imagens do Thematic Mapper abordo do satélite ambiental Landsat, a temperatura de superfície para os municípios de Nilópolis, Belford Roxo e Mesquita. Aplicar o modelo de Maralet, 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.

3 Material e métodos

Para realizar a presente pesquisa foram realizadas as seguintes etapas: Aquisição das imagens A aquisição de imagens orbitais do satélite Landsat ; Determinadas as coordenadas geográficas do município; Foi escolhido uma imagem diurna 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 de superfície no período da imagem; foi aplicar de técnicas de SIG e sensoriamento remoto; Foi reprojeta das para a Projeção/Datum WGS1984 UTM Zona 23S, uma vez que corresponde à projeção do local onde será realizado o estudo e finalmente foi recorta as imagens infravermelha termiais (banda 10) na área desejada, correspondente e inserido os dados no Sistema de Informação Geográfica Geounig para realizar as análises.

3.1 Materiais

Para realizar este fez-se necessário a obtenção de Imagens de satélites, series temporais, dados georeferenciados, equipamentos e materiais. A presente pesquisa faz parte do Grupo de Pesquisa CNPQ Engenharia e Sociedade do curso Engenharia Civil da UNIG e contou com as informações das Prefeituras Municipais de Belford Roxo, Nilópolis e Mesquita.

3.2 Métodos

A primeira etapa da pesquisa deu-se pela identificação da temperatura através das imagens dos satélites Landsat da USGS – Serviço Geológico Americano e visualizadas no programa para SIG Qgis versão 2.18. A segunda etapa deu-se pela identificação da temperatura da superfície através da ferramenta Calculadora Raster do programa QGIS 2.18, aplicando as equações 1, 2 e 3 para determinação da radiância para o Landsat sugeridas por Pires e Ferreira Jr (2015) A seguir, serão apresentadas as equações utilizadas para o cálculo da radiância na identificação de temperatura nas seguintes imagens:

a) Na imagem de Satélite do Landsat:

$$L_{\lambda} = ((L_{max\lambda} - L_{min\lambda}) / (Q_{calmax} - Q_{calmin})) * (Q_{cal} - Q_{calmin}) + L_{min\lambda} \quad (1)$$

Quadro 1 - Elementos e significados extraídos para a radiância da imagem do Landsat 5

Símbolo	Significado
$L\lambda$	Radiância espectral ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)
$L_{max\lambda}$	Radiância espectral máxima ($12.65 W/ m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)
$L_{mix\lambda}$	Radiância espectral mínima ($3.2 W/ m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)
Q_{calmax}	Valor mínimo de pixel em níveis de cinza (DN = 255)
Q_{calmin}	Valor máximo de pixel em níveis de cinza (DN = 1)
Q_{cal}	Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

Fonte: Pires e Ferreira Jr. (2015).

Consistência dos dados

A primeira etapa da consistência dos dados foi uma adaptação da metodologia proposta por Baba et al. (2014). Primeiro realizou-se uma validação básica onde se verificou-se a ocorrência de dados inconsistentes. "Geralmente, esses dados são aqueles gerados por erros de leituras dos sensores, com problemas de calibração ou com defeitos." ("SciELO - Brasil - Correção de dados agro meteorológicos ...")

Na Validação de limites verifica se os valores a serem analisados respeitam condições básicas da variável representada, ou seja, se ela representa um valor fisicamente possível de ser obtido. "Sob este ponto de vista, os dados válidos podem ser restritos dentro de um limite de valores possíveis." ("SciELO - Brasil - Correção de dados agro meteorológicos ...") Por exemplo, a umidade relativa do ar deve estar em um intervalo de dados de 0% a 100%, e a precipitação não deve possuir valores negativos. "Qualquer valor fora do intervalo estaria incorreto, pois representaria um valor impossível para a variável em questão." ("CORREÇÃO DE DADOS AGROMETEOROLÓGICOS UTILIZANDO MÉTODOS ...")

Validação lógica: algumas estações meteorológicas registram dados médios, máximos e mínimos referentes ao intervalo de tempo do monitoramento. Estes dados devem respeitar suas condições lógicas básicas. Por exemplo, a temperatura média de um período não pode ser maior que a temperatura máxima ou menor que a temperatura mínima deste mesmo período. ("SciELO - Brasil - Correção de dados agro meteorológicos ...")

Validação de limites do período: identifica valores suspeitos de erros, com base na comparação dos valores de um intervalo específico. Verifica se os mesmos apresentam condições físicas passíveis de ocorrer. ("CORREÇÃO DE DADOS AGROMETEOROLÓGICOS UTILIZANDO MÉTODOS ...") Por exemplo, a diferença de temperatura máxima permitida para um determinado horário de 10^0C , na equação $Temp_{máxima} - Temp_{mínima} < 10^0C$. Mesmo assim, qualquer situação que não respeite esta regra não deve ser descartada, mas sim apresentada como um dado suspeito de conter falhas, visto que variações extremas de mudanças de tempo são passíveis de acontecer. ("CORREÇÃO DE DADOS AGROMETEOROLÓGICOS UTILIZANDO MÉTODOS ...")

Para o preenchimento das falhas será utilizado a média simples e a regressão linear. A média simples é obtida pela equação 2.

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i) / n \quad (2)$$

Onde $\bar{x}$ é a média, x_i o valor observado e n o número de amostras.

A regressão linear a calculada pela equação 3.

$$y_i = a + bx_i \quad (3)$$

Onde y_i é a variável dependente, a é o coeficiente linear, b é o coeficiente angular e x_i a variável independente. ("Disponibilização de Métodos de Tratamento de Dados ...") Para calcular os coeficientes foram utilizadas as equações (4) e (5).

$$a = \frac{(\sum x^2 \sum y - \sum xy) \sum x}{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)} \dots\dots\dots (4)$$

$$b = \frac{(n \sum xy - \sum x \sum y)}{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)} \dots\dots\dots (5)$$

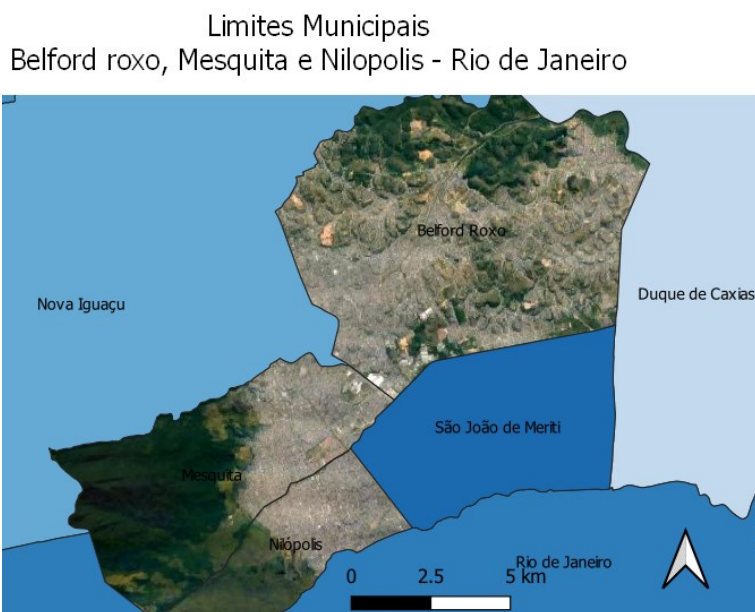
5 Resultados Finais

O presente trabalho obteve a temperatura da superfície estimada com base nos dados do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5 a partir daí foi comparada com as diferentes classes de uso e ocupação do solo urbano dos municípios Mesquita, Nilópolis e Belford Roxo/Rj. 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. ("SciELO - Brasil - Identificação de ilhas de calor na área ...")

5.1 Delimitação dos limites dos municípios

Para delimitação dos limites municipais foi utilizado a camada municípios do shape do IBGE para correlação espacial tanto no software Qgis como Google Earth após tratamento foi inserido no sistema para representação espacial. Observa-se que alguns dos municípios tem mais de 60 % de áreas urbanas Mapa 1.

Mapa 1 de localização Google Earth Municípios: Belford Roxo, Mesquita, Nilópolis



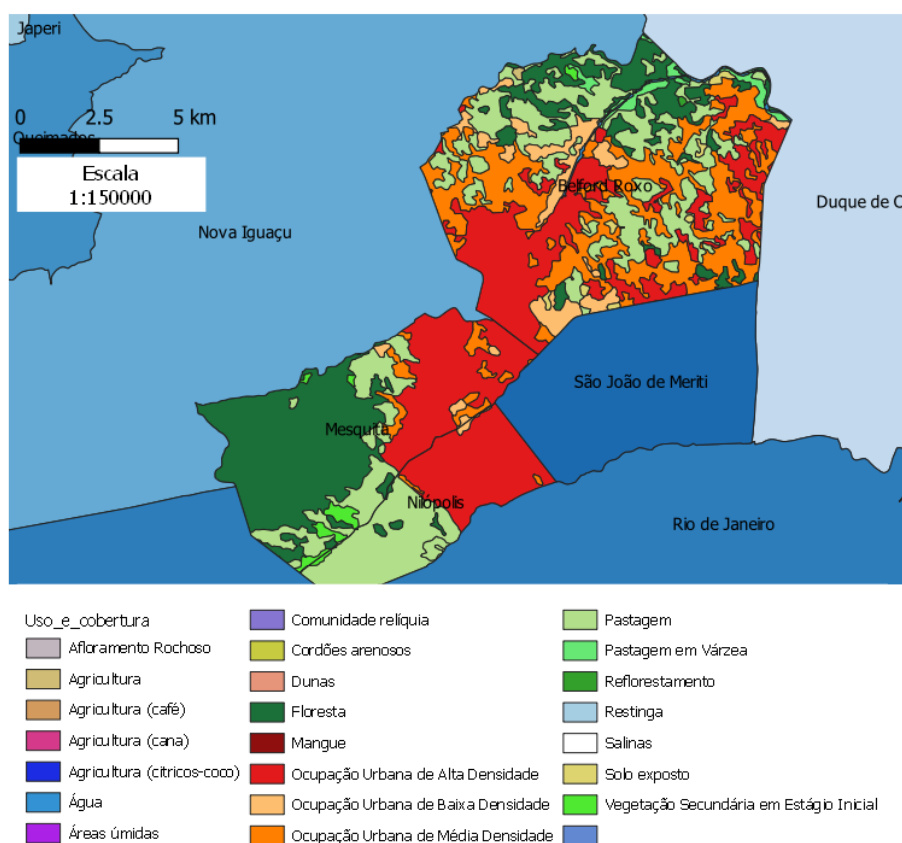
Fonte: autor

5.2 Cobertura e uso do solo

Por meio do cálculo da área de cada classe de uso de solo, pode-se verificar, que a classe predominante no perímetro urbano foi a "ocupação urbana" subdividida por: alta densidade, média densidade, baixa densidade " conforme classificação nos indicadores ambientais, as classes que representam a vegetação foram "Floresta" e "vegetação secundária em estágio inicial". A distribuição das diferentes classes pode ser explicada pela maneira foi projetada e desenvolveu-se nos municípios. Notou-se, também, que as áreas urbanas correspondentes pelas áreas de ocupação urbana apresentam uma considerável variação espacial da temperatura da superfície, com diferenças que podem ser superiores a 20º C e com valores absolutos entre 20 ºC e temperaturas acima de 40 ºC. A distribuição espacial dos oito grupos de valores de temperatura da superfície na área urbana será apresentada no relatório final.

Mapa 2 Uso e Cobertura no Solo Municípios Belford Roxo, Mesquita, Nilópolis

Mapa de uso e Cobertura do Solo
Belford roxo, Mesquita e Nilopolis - Rio de Janeiro



Fonte: Autor

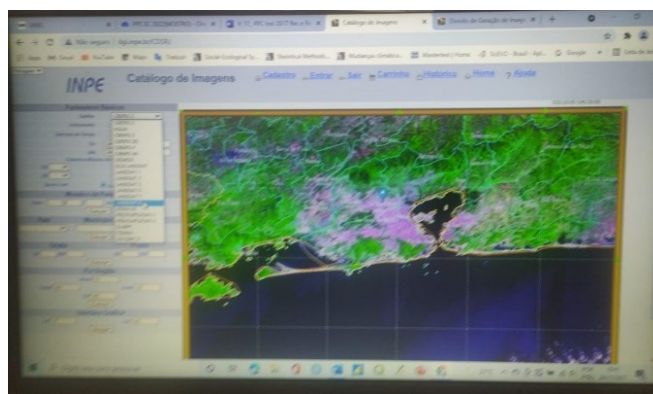
Para o preparo e tratamento do dado raster, foram consultadas as malhas de estrutura territorial dos municípios, foram utilizadas técnicas de composição de imagens cor natural, associando a banda 4 ao filtro vermelho, banda 3 ao filtro verde e a banda 2 ao filtro azul (4R; 3G; 2B); e a técnica com a banda 4 ao filtro vermelho, a banda 5 ao filtro verde e a banda 6 ao filtro azul (4R; 5G; 6B) para destacar a área urbana da zona rural. O

procedimento para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo se deu por uma classificação supervisionada com o complemento do QGIS 2.18 chamado SemiAutomatic Classification Plugin (SCP). O método de classificação do uso e cobertura da terra usado foi feito segundo a classificação do uso e cobertura da terra foi adaptado ao local de estudo, com base no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013)

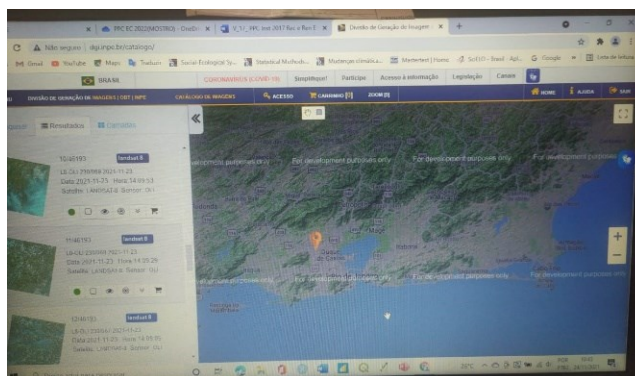
5.3 Obtenção da imagem de satélite

As obtenções das imagens foram realizadas no instituto nacional de pesquisas espaciais-INPE. As imagens destes satélites são inteiramente gratuitas (não tarifadas). O meio de envio padrão das imagens (gratuitas) é por transferência de arquivos (FTP) via Internet. ("Catálogo de Imagens - Divisão de Geração de Imagens") as imagens são ortorretificadas GLS-LANDSAT, para serem usada de base para georeferenciamento. Após a seleção das imagens tendo de finalidade e padrão são iniciados os procedimentos de tratamento das imagens.

Mapa 3 Catálogo INPE



Mapa 4 Seleção das Imagens

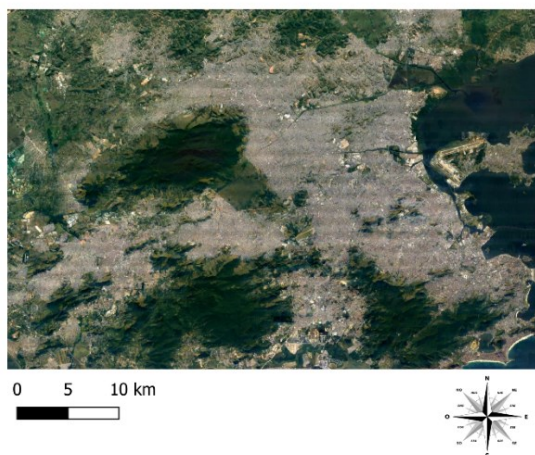


5.4 Base Termal temperatura de superfície

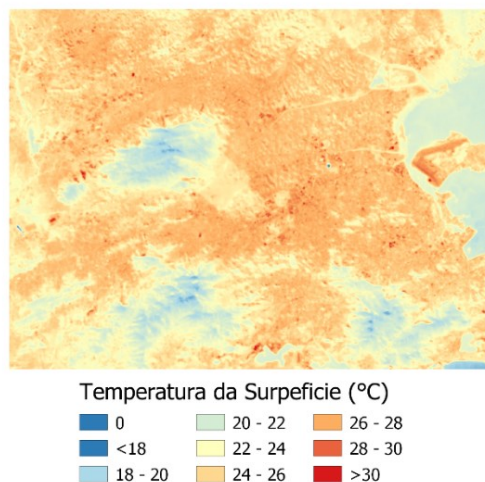
Enfim, para a elaboração do mapa temático de temperatura de superfície da área de estudo foi feito um tratamento da imagem de satélite de banda 10. O método utilizado para este tratamento foi descrito por Coelho e Correia (2013), no qual é feito uma composição com duas imagens da banda 10 do Landsat-8, após o recorte da área de estudo e, a seguir, a aplicação da seguinte fórmula na calculadora raster para a conversão de radiância para graus Celsius: $TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * \text{"banda10.tif"} + 0.10000) + 1)) - 273.15$

Mapa 5 Base de temperatura

a) Imagem Google Earth

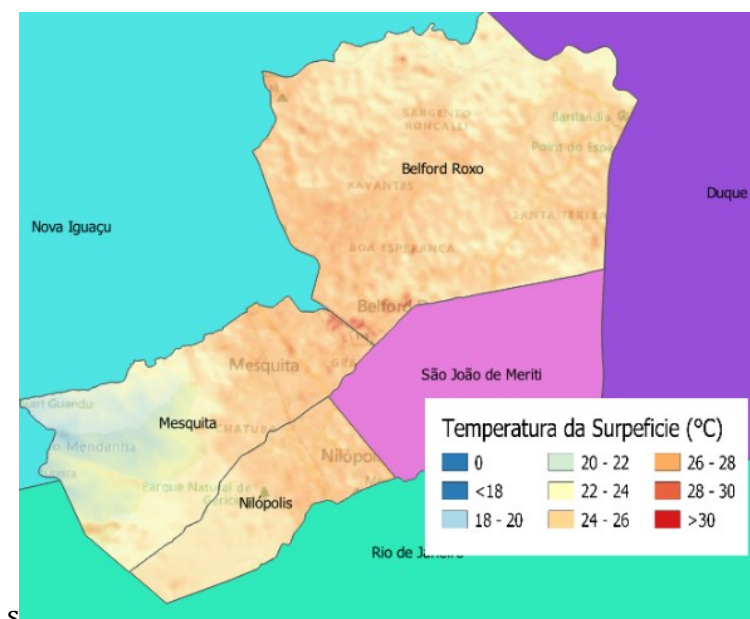


b) Base termal



Ao compararmos a imagem de uso do solo (Mapa a) e o mapa de temperatura de superfície (Mapa 5 b), pode-se perceber a grande influência da ocupação urbana no balanço térmico dos municípios. As edificações e superfícies revestidas com material impermeável tem um papel fundamental na retenção de calor, conforme Pereira e Rocha (2018). Desta forma, as temperaturas mais altas podem ser associadas a áreas de maior adensamento urbano. Os núcleos urbanos distribuídos de forma mais esparsa espacialmente também apresentam temperaturas superiores do seu entorno, com temperaturas entre os intervalos de 26°C a 28°C, 28°C a 30°C e alguns pontos com superiores a 30°C. Nas áreas de vegetação rasteira são observadas temperaturas intermediárias, predominante nos intervalos de 26°C a 28°C e 28°C a 30°C. Apenas onde se faz presente a vegetação densa que a temperatura de superfície é mais amena como a Serra de Madureira. Nestas áreas, predomina os intervalos com temperatura da superfície menor, como de 22°C a 24°C e 24°C a 26°C. Pode-se observar que quase não há áreas de vegetação rasteira e densa dentro das áreas urbanas, apenas ao redor

Mapa 6 termal dos municípios



Conclusão

As ferramentas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e de sistemas de informações geográficas (SIG) demonstraram ser eficientes para o estudo do clima urbano e permitiram auxiliar através da espacialização e correlação da temperatura de superfície no espaço geográfico visando nortear ações para suavizar e até reduzir o efeito de altas temperaturas consequentes da urbanização, nada sustentável, permitindo um melhor planejamento de soluções para cidades. Os resultados que estão compreendidos neste trabalho apresentam a grande influência da ocupação urbana sob o aumento da temperatura da superfície nos municípios de Belford Roxo, Mesquita e Nilópolis - Seja nas grandes áreas urbanas com temperaturas compreendidas entre 28° a 30°C; as áreas de vegetação densa apresentou temperatura inferior a 18°C. As áreas de vegetação rasteira apresentaram temperaturas intermediárias correspondente a 20°C a 22°C demonstrando a importância da presença de vegetação densa próximas às cidades. Foi observado que há pouca vegetação rasteira e densa nas grandes áreas urbanizadas tendo em algumas áreas temperaturas acima de 30°C. Os municípios de Nilópolis e Belford Roxo apresentaram faixas de temperaturas compreendidas entre mínima 22°C a 30°C e com áreas acima de 30°C sendo necessário que os municípios ampliem suas ações com vistas a mitigar as altas temperaturas de superfícies nas cidades com a implantação de políticas de arborização em ruas e construção de praças e parques visando procurar atenuar as altas temperaturas no interior da malha urbana, assim como acontece nos núcleos urbanos mais esparsos. As ilhas de calor urbanas vêm provocando alterações severas no clima das cidades de todo o mundo e trazendo, conseqüentemente, mais incidência de eventos extremos e problemas sérios de saúde para a população urbana. As altas temperaturas nos ambientes urbanos proporcionam muitos inconvenientes à população em virtude dos incômodos que o calor excessivo provoca, além de aumentar significativamente o consumo de energia elétrica, usada para vida cotidiana.

O aumento das temperaturas durante o dia, resfriamento noturno reduzido, e níveis mais elevados de poluição do ar, em associação com as ilhas de calor urbana podem afetar a saúde humana, contribuindo para o desconforto geral, dificuldades respiratórias, fadigas de calor e exaustão, Acidente Vascular Cerebral (AVC) não-fatais, e mortalidade relacionada a diversas comorbidades causadas pelo excesso de calor. As Ilhas de calor também podem exacerbar o impacto de ondas de calor, que são períodos de tempo anormalmente quente e, muitas vezes, úmido. 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. Enfim é urgente a realização de planejamento urbano considerando a nova realidade de mudança de clima tanto para a arborização em cidades como a utilização de técnicas construtivas que possibilitem menor compensação em temperatura ambiente.

Referências

ALLEN, R. G.; ALLEN, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. Irrigation and Drainage Systems, v. 19, p.251-268, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226535534_A_Landsat-Based_Energy_Balance_and_Evapotranspiration_Model_in_Western_US_Water_Rights_Regulation_and_Planning> Acesso em abril de 2019

ALLEN, R.G., TASUMI, M. and TREZZA, R.. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p., 2002. Disponível em: < <http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf>> Acesso em abril de 2019

ARAUJO, T. L. Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/LA_DSAT. Dissertação (mestrado em Meteorologia: Processos de Superfícies Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciencias Atmosfericas. Maceio, 2006. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/862/1/TacianaLimaAraujo.pdf>> Acesso em abril de 2019

BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Tese (Ph.D.). Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1995. <<http://edepot.wur.nl/206553>> Acesso em abril de 2019

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>, acessado em abril de 2019. Acesso em abril de 2019

WANDERLEY R. L. N. ROCHA H. R. SILVA J. M. FREITAS H. C. BRASÍLIO E. M. S. Estimativa de temperatura de superfície e comparação com dados observados Universidade de São Paulo - USP/IAG Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE< <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1125.pdf>> Acesso em abril de 2019

LIMA, C. O.; BARBOSA, M. P.L.; Vera, L. A. S., Miguel, J. Uso de imagens TM/Landsat-5 e termometria na identificação e mapeamento de solos afetados por saís na regioao de Sousa, PB. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.2, p.361-363, 2001 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB - <http://www.agriambi.com.br>. <<http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/eneeamb2016/ma-011-5114.pdf>>

Acesso em abril de 2019

LIU, W. T. H., Aplicações de Sensoriamento Remoto. Ed. UNIDERP, Campo Grande, 2007. <<https://www.worldcat.org/title/aplicacoes-de-sensoriamento-remoto/oclc/710864192>>Acesso em abril de 2019

LOMBARDO, M. A. Ilha de Calor nas Metrôpoles. Ed. Hucitec, Sao Paulo, 1985.

MALARET, E; BARTOLUCCI, L A; LOZANO, D F; ANUTA, P E; MCGILLEM, C D. (1985). Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis In:Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 51, pp. 1407-1416. Sept. 1985. < https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1985journal/sep/1985_sep_1407-1416.pdf>

MARIZ MOREIRA, Elvis Bergue et al. O MODELO SEBAL PARA ESTUDOS DE CLIMA INTRAURBANO: APLICAÇÃO EM RECIFE, PERNAMBUCO, BRASIL - THE SEBAL MODEL FOR CLIMATE INTRA-URBAN STUDIES: APPLICATION IN RECIFE, PERNAMBUCO, BRAZIL. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, [S.l.], v. 39, p. 247 - 265, abr. 2017. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/45691>>. Acesso em: 19 maio 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v39i0.45691>.

MEIRELES, M. Estimativa da evaporação real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem landsat 5-TM na Bacia do Acaraú – CE. Dissertacao (mestrado) - Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2007.

MENDONCA, J. C. Estimação da Evapotranspiração Regional Utilizando Imagens Digitais Orbitais na Região Norte Fluminense, RJ, (Tese Doutorado em Producao Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

NICHOL, J.E., High-Resolution sufarce temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study. Journal of Applied Meteorology.V35, 135-146, 1996.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environmet. Vol. 86, p. 370-384, 2003.

WELIGEPOLAGE, K., Estimation of spatial and temporal distribution of evaporatranspiration by satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek, The _etherland, Tese de Mestrado, International Institute for geo-information Science and Earth Observation, 114f, 2005.

WENG, Q. & QUATTROCHI, D.A. Thermal remotesensing of urban areas: An introduction to the special issue. Remote Sensing of Environment, 104, 119–122,2006.

WENG, Q. DENGSHENG, L. SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment 89, v.66, n.23, p,467– 483, 2004

TRATAMENTO DE ÁGUA DE ESGOTOS PARA FINS NÃO POTÁVEIS PELO USO DE RAÍZES

Cristian Pimentel de Souza¹, Cassia Maria Soares de Paulo da Silva², Carlos Eduardo Guarido³, Paula Fernanda Chaves Soares⁴

¹Aluno do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil,^{2,3,4}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
²cassiadepaulo@hotmail.com, carlosguarido@globo.com³, pfernanda07@gmail.com⁴

Resumo. O Sistema de tratamento de águas de esgoto por Zona de Raízes utiliza plantas para o tratamento de águas residuais. A degradação das substâncias poluidoras contidas na água ocorre através da simbiose entre plantas, solo e/ou substrato artificial e microorganismos. A função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato através de rizomas e possibilitar o desenvolvimento de uma população densa de microorganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água. Toda a água tratada e polida pela Zona de Raízes pode ser 100% reciclada. Além de economicamente viável, a implantação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por meio de zona de raízes pode ser empregada como uma ferramenta de apoio para propostas de educação ambiental, para demonstrar a importância da preservação da qualidade da água que pode trazer benefícios sociais, econômicos e ambientais a população. Quando as tecnologias são desenvolvidas abordando esses benefícios, , estas podem tornar-se um instrumento eficaz para o desenvolvimento sustentável de um processo de gestão local. Coletar e tratar o esgoto de áreas rurais ou de pequenos municípios mais afastados dos grandes centros é hoje um dos maiores entraves à universalização do saneamento básico no Brasil. No entanto, existem técnicas simples, relativamente baratas e ecologicamente corretas que ajudam a minimizar o impacto ambiental e reduzir o risco de doenças provocadas pelos dejetos lançados in natura nos rios. As estações de tratamento de esgoto (ETEs) por zona de raízes são um exemplo disso. Neste caso, plantas fazem a filtragem do efluente antes de lançá-lo na natureza.

Palavras-Chave: Saneamento, ETEs, Zona de Raízes

Abstract. The Root Zone Sewage Treatment System uses plants for the treatment of wastewater. The degradation of polluting substances contained in water occurs through the symbiosis between plants, soil and/or artificial substrate and microorganisms. The main function of plants is to supply oxygen to the soil/substrate through rhizomes and enable the development of a dense population of microorganisms, which are ultimately responsible for removing pollutants from the water. All water treated and polished by the Roots Zone can be 100% recycled. In addition to being economically viable, the implementation of the Sewage Treatment Station (ETE) through the root zone can be used as a support tool for environmental education proposals, to demonstrate the importance of preserving water quality that can bring benefits. social, economic and environmental benefits to the population. When technologies are developed addressing these benefits, they can become an effective instrument for the sustainable development of a local management process. Collecting and treating sewage from rural areas or small municipalities further away from large centers is today one of the biggest obstacles to universal basic sanitation in Brazil. However, there are simple, relatively cheap and ecologically correct techniques that help to minimize the environmental impact and reduce the risk of diseases caused by waste discharged in natura into rivers. Sewage treatment plants (ETEs) by root zone are an example of this. In this case, plants filter the effluent before releasing it into nature.

Keywords: Sanitation, ETEs, Root Zone

1 Introdução

A água é um bem essencial à vida e à sobrevivência dos seres vivos, mas um bem escasso que necessita ser racionado e reaproveitado, havendo vários métodos para tratar a água para consumo humano e as águas residuais, resultantes dos esgotos. A falta de tratamento de esgoto e efluentes industriais gera um círculo vicioso: elevados custos da saúde 70% das doenças tem origem de veiculação hídrica mais de 20 crianças morrem por dia por falta de saneamento básico no Brasil (a grande vítima desse processo é a classe pobre), inibindo a competitividade dos setores produtivos.

É possível afirmar que o maior desafio da humanidade para o século XXI é garantir a disponibilidade de água não só para a dessedentação dos seres vivos, mas também para a produção de alimentos. Portanto, a água é a fonte da vida por excelência. Nesse sentido, é fundamental não só o suprimento de água, que tem sua origem no ambiente natural, o qual deve ser preservado a qualquer custo, mas também garantir que ela quando usada seja tratada antes de sua devolução para os mananciais.

Os sistemas com plantas são eficientes porque o processo de degradação da matéria orgânica (mineralização, nitrificação, desnitrificação) é muito completo, devido à grande biomassa. Além disso, são removidos não só a carga orgânica como também nutrientes (por exemplo, Fósforo e Nitrogênio) que levam a eutrofização das águas, elimina patógenos como coliformes, e substâncias inorgânicas como fenóis e metais pesados. Sistemas com plantas podem ser, se desejável, configurados como elementos de Paisagismo Ambiental (Biótopos, por exemplo), em forma de jardins ou parques. A função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato através de rizomas e possibilitar o desenvolvimento de uma população densa de microorganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água.

Toda a água tratada e polida pela Zona de Raízes pode ser 100% reciclada. No Brasil, embora o problema de abastecimento de água tenha sido resolvido satisfatoriamente, atingindo cerca de 80% da população, os sistemas de esgoto cobrem menos de 50% dessa população (IBGE, 2000).

Os Tanques de Zona de Raízes constituem-se em um leito cultivado no qual as águas residuárias entram em contato com as raízes de plantas que promovem a liberação de oxigênio e favorecem o desenvolvimento de bactérias que fixam nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) para a síntese vegetal, proporcionando redução da carga orgânica dos efluentes. Assim, este sistema de tratamento de esgoto doméstico, pode evitar a poluição das águas superficiais e subterrâneas, e possibilitar o reuso de águas, utilizando os efluentes tratados para demandas não potáveis. Além disso, os leitos cultivados construídos são unidades de tratamento que tentam reproduzir sistemas biológicos naturais, dispensam o consumo de energia elétrica, reagentes químicos e equipamentos mecânicos, além de não gerarem odores desagradáveis.

É indiscutível que a falta de tratamento de esgotos sanitários é considerada um grave problema ambiental à população brasileira e ao governo. No Brasil, segundo o IBGE, 85% (2011) das residências brasileiras possuem os serviços de tratamento e distribuição de água. No entanto, apenas 56% (2011) das residências brasileiras têm acesso à coleta de esgoto, ou seja, cerca de 90 milhões de pessoas não possuem coleta ou tratamento de tais efluentes. A qualidade e o acesso aos serviços de saneamento estão diretamente relacionados à saúde pública (LEMES, 2008). Água encanada e tratada é considerada um grande benefício para as comunidades, mas, no caso desse serviço não ser acompanhado do correto tratamento, existe a possibilidade de acarretar doenças à saúde da população (LEMES, 2008).

O lançamento de esgoto sem tratamento nos corpos d'água é responsável por 90% da contaminação hídrica (KRESSE, 1997). Por consequência de tal ação, podem aparecer inconvenientes, como o desprendimento de maus odores, presença de sabor na água potável,

mortandade de peixes e ameaça à saúde pública. Sendo assim, a busca por tecnologias alternativas e de menor custo para tratamento de efluentes é de suma importância. Nesse cenário, tem se mostrado eficaz o tratamento por zona de raízes pelo fato de esses sistemas poderem ser implantados no local onde o esgoto é gerado, serem facilmente operados, economizarem energia e serem mais flexíveis e menos susceptíveis a variações nas taxas de aplicação de esgoto (BRIX, 1993).

Outro aspecto positivo do sistema é a ausência da produção de lodo, o que muitas vezes provoca mau cheiro (secagem lenta) com alto custo (secagem mecânica); na zona raízes, o mau cheiro é evitado porque as próprias raízes funcionam como um filtro, eliminando-o (VAN KAICK, 2002). Os primeiros estudos com sistema de zona de raízes ou também conhecido por Wetlands construídos de fluxo vertical, foram realizados na década de 70 na Alemanha, e eram denominados inicialmente como Max Planck Institut Process, e a concepção de tratamento é análoga aos filtros de areia, e o esgoto precisa passar antes pela fossa séptica para depois ser lançado por meio de tubulações perfuradas na área plantada do filtro, ou seja, na zona de raízes plantada em cima de um filtro físico composto por um material de suporte como cascalho ou pedra britada areia grossa (PHILIPPI, 1997; VAN KAICK, 2002).

As plantas, independentemente do gênero a que pertençam, devem ter no mínimo características básicas como: aerênquimas bem desenvolvidos (Figura 1a) no caule e raízes que devem ser em forma de cabeleira (Figura 1b). O autor Seitz (1995) e documentos do IWA(2000) aconselham que as plantas, além de apresentarem as características descritas, devem ser de preferência nativas da região ou da área de instalação da ETE, por estarem adaptadas às condições climáticas do local da instalação das ETEs.

Figura 1: Características básicas das plantas para serem utilizadas: a) aerênquima bem desenvolvido da planta *crinum* spp., e b) as raízes em forma de cabeleira.



Autor: ARTEN, A. R.

2 Metodologia

Inicialmente foi feita revisão de literatura, com base na bibliografia disponível no âmbito dos estudos do tratamento de esgoto por zona de raízes, o que incluiu artigos científicos publicados em revistas, trabalhos para conclusão de curso, bem como dissertação de mestrado que têm como

alvo de estudos o tema proposto. Para desenvolvimento do projeto, inicialmente, foi montada uma planta piloto numa caixa box de plástico de 30cmX50cmX20cm (Figura 2), que contém, de baixo para cima, camadas de pedra brita fina e areia. Em cima dessas camadas foram inseridas macrófitas (plantas de áreas alagadas), que fazem o trabalho em simbiose com bactérias aeróbicas. Esta, por sua vez, decompõe as partículas orgânicas junto às raízes utilizando o oxigênio captado do ar pelas próprias plantas.

Figura 2



Fonte: O Autor

Em seguida, foi coletado 5 litros de esgoto, de odor desagradável e água turva, devido aos diversos esgotos jogados nesse efluente do Rio Jequiá, na rua Ericeira próximo ao número 16, Jardim Carioca, Ilha do Governador RJ (Figura 3).

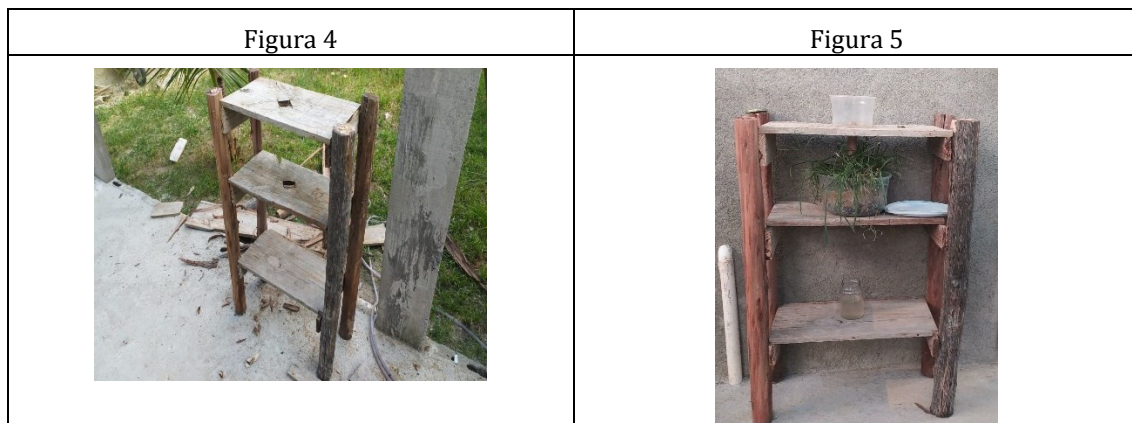
Figura 3



Fonte: O Autor

Em seguida adicionou-se o esgoto coletado à caixa box piloto, e esta foi colocada num suporte construído artesanalmente (figuras 4 e 5), para que pudesse observar o líquido que percorria

verticalmente, passando por essas camadas de substratos diferentes que estão densamente entremeadas por raízes da planta escolhida (Capim Santa Fé)



Fonte: O Autor

Os passos finais foi a observação da filtração dessa água e a comparação entre o efluente que entra e o que sai da ETE por zona de raízes (figuras 6 e 7)



Fonte: O Autor

3 Resultados

Os Tanques de Zona de Raízes constituem-se em um leito cultivado no qual as águas residuárias entram em contato com as raízes de plantas que promovem a liberação de oxigênio e favorecem o desenvolvimento de bactérias que fixam nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) para a síntese vegetal, proporcionando redução da carga orgânica dos efluentes. Assim, este sistema de tratamento de esgoto doméstico, pode evitar a poluição das águas superficiais e subterrâneas, e possibilitar o reúso de águas, utilizando os efluentes tratados para demandas não potáveis. Além disso, os leitos cultivados construídos são unidades de tratamento que tentam reproduzir sistemas biológicos naturais, dispensam o consumo de energia elétrica, reagentes químicos e equipamentos mecânicos, além de não gerarem odores desagradáveis. Pelo ensaio realizado primeiramente observa-se que a água percorre verticalmente, passando por essas camadas de substratos diferentes que estão densamente entremeadas por raízes da planta escolhida. Os passos finais foi a observação da filtração dessa água e a comparação entre o efluente que entra e o que sai da ETE por zona de raízes, de acordo com a figura 6e 7, onde a garrafa esquerda é o efluente bruto e direito o efluente tratado.

4 Conclusão

Além de economicamente viável, a implantação da ETE por meio de zona de raízes pode ser empregada como uma ferramenta de apoio para propostas de educação ambiental, sendo esta utilizada para demonstrar a importância da preservação da qualidade da água que pode trazer benefícios sociais, econômicos e ambientais a população. O desenvolvimento sustentável começa a ser alcançado quando as questões básicas da sociedade começam a ser solucionadas. Dentre as questões básicas, uma das mais relevantes está relacionada ao saneamento básico, podendo vir a contribuir para amenizar um dos gargalos do desenvolvimento sustentável - que é a falta de saneamento básico, e trazer uma melhor qualidade de vida para as populações carentes destes serviços. Esta possibilidade na melhoria da qualidade de vida por meio da oferta de saneamento adequado, viabiliza uma nova perspectiva para o desenvolvimento de outros setores, incrementando o potencial econômico e ambiental local.

5 Agradecimentos

A Universidade Iguaçu pela oportunidade desta pesquisa, através do Programa de Iniciação Científica, ao incentivo do Grupo Engenharia e Sociedade, a Coordenação de Engenharia Civil e a Auxiliar Administrativa da FACET- Bloco M - Patrícia Peixoto Tavares da Silva.

6 Referências Bibliográficas

BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. In: MOSHIRI, G.A. (Ed.) Constructed wetlands for water quality improvement. Boca Raton: CRC Press, p. 9-23,1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Atlas do Saneamento 2011.

KRESSE, K. Água potable y saneamiento: Los avances en los últimos años son insuficientes. Desarrollo e Cooperación. Berlin, n. 2, p.26-29,1997.

LEMES, J.L.V.B.; SCHIRMER, W.N.; CALDEIRA, T.V.; VAN KAICK, T.V.; ABEL, O.; BÁRBARA, R. R. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes, em comunidade rural. Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 169-179, abr./jun. 2008.

VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

VAN KAICK, T. S. Jardim Ecológico- Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes: Análise e Comparação da Eficiência de uma Tecnologia de Saneamento Apropriada e Sustentável. VI Semana de Estudos de Engenharia Ambiental. -Campus Irati. 02 a 05 de junho 2008

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS-RJ UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA

Edinaldo Vicente de Mello¹; Gisele Dornelles Pires²; Fabricio Polifke da Silva³

¹ Aluno do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil,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

³ Professor Meteorologia Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ)

Resumo – O monitoramento ambiental é um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, com o objetivo de identificar e avaliar - qualitativa e quantitativamente - as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo. As variáveis sociais, econômicas e institucionais também são incluídas neste tipo de estudo, já que exercem influências sobre o meio ambiente. O presente projeto tem como objetivo analisar os dados de radiação solar e a estimativa do seu potencial na cidade de Duque de Caxias, região da Baixada Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. Para o presente projeto, estabeleceram-se os seguintes objetivos: Analisar os dados de radiação solar observados in situ e analisar os dados de radiação solar estimados pela reanálise ERA 5; avaliar métricas estatísticas entre as duas fontes de dados; aplicar técnicas de Aprendizado de Máquina no Município de Duque de Caxias no Estado do Rio de Janeiro/RJ

Palavras-chave: Era5, Radiação Solar, Aprendizado de Máquina.

Abstract - Abstract – Environmental monitoring is a process of data collection, study and continuous and systematic monitoring of environmental variables, with the objective of identifying and evaluating - qualitatively and quantitatively - the conditions of natural resources at a given time, as well as trends along the way. over time. Social, economic and institutional variables are also included in this type of study, as they influence the environment. The present project aims to analyze solar radiation data and estimate its potential in the city of Duque de Caxias, in the Baixada Fluminense region of the State of Rio de Janeiro. For the present project, the following objectives were established: To analyze the solar radiation data observed in situ and to analyze the solar radiation data estimated by the ERA 5 reanalysis; evaluate statistical metrics between the two data sources; apply Machine Learning techniques in the Municipality of Duque de Caxias in the State of Rio de Janeiro/RJ

Keywords: Era5, Solar Radiation, Machine Learning

1 Introdução

Em 1972 houve a primeira atitude mundial de conscientização sobre a importância do meio ambiente e seu uso controlado. A conferência das Nações Unidas aconteceu na capital da Suécia, Estocolmo, e ficou conhecida como a Conferência de Estocolmo, que teve como intuito promover o desenvolvimento sustentável, cujo, o objetivo é satisfazer as suas próprias necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Os países subdesenvolvidos não concordaram em reduzir as atividades industriais por ser sua base econômica, criando o “Desenvolvimento a qualquer custo” (ESTENDER & PITTA, 2008).

Após, em 1992, aconteceu à conferência das Nações Unidas do Rio de Janeiro, que ficou conhecida como Cúpula da Terra, onde os países admitiram a necessidade de adequar o desenvolvimento socioeconômico com a natureza, reconheceu o desenvolvimento sustentável e iniciaram atitudes para proteger o meio ambiente. Decidiram, então que os países em desenvolvimento receberiam apoio financeiro e tecnológico para se desenvolverem sustentavelmente. Assim minimizando os conflitos registrados na Conferência de Estocolmo (SENADO, 2020).

A preservação do meio ambiente é um processo contínuo e gradual. A direção para a sustentabilidade está em combinar atitudes das pessoas com as complexas necessidades ambientais, para isso é necessário modificar e aperfeiçoar (SILVA, 2011). A energia é primordial para o avanço de uma sociedade e, para diminuir os impactos ambientais, é necessário desenvolver tecnologias que aumentem a eficiência energética e a sustentabilidade da geração (PEREIRA et al., 2017).

A energia oriunda do Sol é uma das possibilidades energéticas mais promissoras para o desenvolvimento sustentável, sendo uma fonte de energia abundante e, a princípio infinita, constante cerca de bilhões de anos, com o rendimento presente de $3,86 \times 10^{26}$ W e temperatura em sua superfície de 5778 K (5505° C). É uma estrela de porte mediano e a energia emitida é decorrente das reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênio (cerca de 75%) para desenvolver Hélio (25% da composição do sol) (PEREIRA et al., 2017). Aproximadamente 81% energia que se estende sobre a Terra/Atmosfera está no comprimento de onda do aparente ao infravermelho aproximado. Todos os processos dinâmicos, térmicos e químicos, naturais (fotossíntese, ciclo hidrológico, dinâmica da atmosfera e oceanos etc.) ou artificiais (fabricado pelo homem através da ciência e tecnologia), são promovidos por essa energia (PEREIRA et al., 2017).

A fonte de energia principal na matriz elétrica brasileira é a hidroeletricidade, o que torna o sistema elétrico único nas questões de consequências ao meio ambiente. Mesmo sendo renováveis, as hidroelétricas sofrem os efeitos climáticos, tendo seu reservatório de água com nível reduzido em tempos de seca, diminuindo a energia armazenada e alcançando valores preocupantes no panorama da estabilidade do sistema energético, assim causando o aumento do custo da energia no país. Também impacta, negativamente, na utilização da água para abastecimento da população, agricultura, entre outros (PEREIRA et al., 2017).

A energia hidroelétrica é sustentável, mas enfrenta grande desaprovação da população por conta dos impactos ambientais e sociais que a implantação de uma hidroelétrica causa, inundando amplas áreas, modificando o ciclo hidrológico, emitindo metano, acarretando estragos a estabilidade do ecossistema da região e deslocando populações indígenas e ribeirinhas (PEREIRA et al., 2017).

Devido à diminuição anual do rendimento das hidroelétricas, em torno de 20 pontos percentuais associados ao total gerado, o aumento da procura por energia está sendo suprido, em sua maioria, por uma expansão das usinas termoeletricas a combustíveis fósseis, abrangendo a nuclear, assumindo cerca de 26% da energia elétrica disponibilizada no ano de 2015 enquanto a hidráulica teve uma redução de 81% para 62% entre os anos de 2011 e 2015, em consequência da estiagem. Com o aumento do uso das termoeletricas

houve também o aumento das emissões de carbono, crescendo de 82 para 137kgCO₂ / MWh no intervalo pesquisado, devendo ser reduzido (PEREIRA et al., 2017).

A aplicação de tecnologias de transformação de energia solar em térmica ou fotovoltaica está progredindo exponencialmente. Entre 2010 e 2016, a tecnologia fotovoltaica teve crescimento mundial em torno de 40%, já a eólica e a hídrica cresceram 16% e 3%, respectivamente. Placas fotovoltaicas de pequeno a médio porte fixado na extremidade de um edifício permitem o fornecimento de eletricidade para uso particular e o excedente pode ser remetido à rede do sistema elétrico. Os EUA e a Espanha totalizam 80% da capacidade global de produção de energia através da tecnologia foto térmica (PEREIRA et al., 2017).

A fonte de energia principal na matriz elétrica brasileira é a hidroeletricidade, o que torna o sistema elétrico único nas questões de consequências ao meio ambiente. Mesmo sendo renováveis, as hidroelétricas sofrem os efeitos climáticos, tendo seu reservatório de água com nível reduzido em tempos de seca, diminuindo a energia armazenada e alcançando valores preocupantes no panorama da estabilidade do sistema energético, assim causando o aumento do custo da energia no país. Também impacta, negativamente, na utilização da água para abastecimento da população, agricultura, entre outros. Nesse contexto, o recurso solar aponta-se como uma ótima fonte de energia para acrescentar as fontes já estabelecidas, como as hidroelétricas, pois existe grande incidência de irradiação na extensão terrestre, principalmente no Nordeste brasileiro, e é uma importante condição para a efetividade da utilização dessa técnica. A aplicação da energia solar colabora com o controle hídrico nos reservatórios, principalmente nas épocas de pouca chuva, possibilitando programar e aperfeiçoar novas formas de produção, transferência e emissão de energia (PEREIRA et al., 2017).

Os algoritmos de aprendizado de máquina podem resolver muitos problemas complexos de maneira genérica, não exigindo uma programação explícita; em vez disso, eles aprendem com os dados. Quanto maior o conjunto de dados utilizados nas etapas de aprendizado, mais o preciso se tornar. O objetivo de um algoritmo de ML é identificar padrões em um determinado grupo de dados, muitas vezes chamado de conjunto de treinamento, para que se possam prever corretamente os rótulos de novos dados, inicialmente fora do conjunto de treinamento.

No âmbito da análise variabilidade espacial da energia solar e a sua importância para a matriz energética brasileira, a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina pode então fornecer novas alternativas para a sua estimativa, principalmente em diferentes escalas temporais. Inserido neste contexto, o presente trabalho se propõe a utilizar técnicas de aprendizado de máquina visando à estimativa do potencial solar na cidade de Duque de Caxias.

2 Objetivos

O presente projeto teve como objetivo analisar os dados de radiação solar e a estimativa do seu potencial na cidade de Duque de Caxias, região da Baixada Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. Para o presente projeto, estabeleceram-se os seguintes objetivos: Analisar os dados de radiação solar observados in situ; analisar os dados de

radiação solar estimados pela reanálise ERA 5; avaliar métricas estatísticas entre as duas fontes de dados; aplicar técnicas de Aprendizado de Máquina.

3 Material e métodos

- Área de estudo

Duque de Caxias é um município brasileiro do estado do Rio de Janeiro, Região Sudeste do país. Localiza-se na Baixada Fluminense, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, estando situado a 15 km da capital estadual. Sua população estimada em 2020 era de 924 624 habitantes sendo assim o mais populoso da Baixada Fluminense, o terceiro mais populoso do estado e o 18º mais populoso do país.

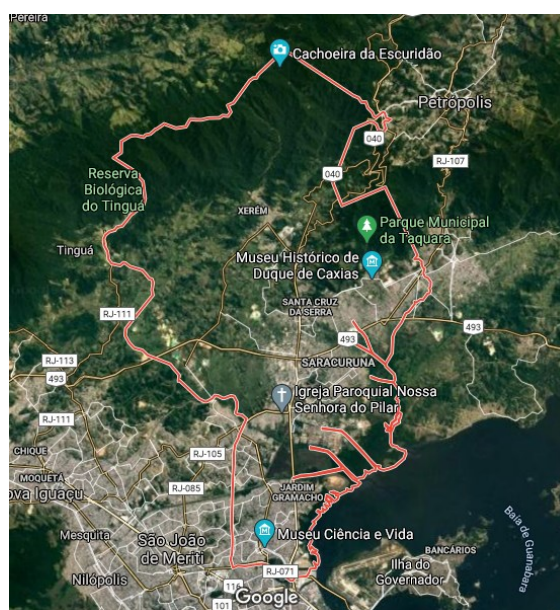


Figura 1: Cidade de Duque de Caxias, delimitada em vermelho. Fonte: Google Earth (2020).

De acordo com a divisão regional vigente desde 2017, instituída pelo IBGE (2020) o município pertence às Regiões Geográficas Intermediárias e Imediatas do Rio de Janeiro. Até então, com a vigência das divisões em microrregiões e mesorregiões, fazia parte da microrregião do Rio de Janeiro, que por sua vez estava incluída na mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro. 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. Duque de Caxias é banhada pela Baía de Guanabara, não tendo praias, ilhas e nem portos. Esses limites são de manguezais de água salobra, tendo uma área linear de 13,96 km e passa nas costas dos bairros (Parque das Missões, Parque Beira Mar, Vila Guanabara, Jardim Gramacho, Complexo da REDUC- Refinaria de Duque de Caxias e Jardim Ana Clara).

Com o clima tropical de savana as temperaturas em Duque de Caxias são bem variadas, podendo chegar a 40 °C, no verão, e 10 °C ou menos, no inverno. Em alguns distritos do município, como São Bento, Amapá, Xerém e Tinguá, a temperatura no inverno

pode cair abaixo dos 10 °C, como no inverno de 2014, quando as temperaturas na madrugada de 27 de julho chegaram a 7,6 °C em São Bento e Pantanal, 7,9 °C em Amapá, 8,4 °C em Xerém e 8,9 °C em Tinguá, além de 9,4 °C no centro de Duque de Caxias. A temperatura mínima na cidade pode atingir os 10 °C, nos meses de maio a julho. Levando-se em conta o gradiente térmico, que estabelece a variação de 0,65 °C para cada 100 metros de altitude.

- Dados de radiação solar in situ e da reanálise da NASA (National Aeronautics and Space Administration (NASA) ou Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources

Para o estudo do solar serão utilizados os dados meteorológicos coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/portal/>) para uma estação meteorológica automática localizada na cidade de Duque de Caxias entre 2008 e 2020. O nome de referência da estação é Duque de Caxias – Xerém apresenta Latitude: -22.589806º, Longitude: -43.282233º e Altitude: 24 metros em relação ao nível médio do mar. A reanálise ERA5 fornece estimativas de hora em hora de um grande número de variáveis ambientais. Na proposta inicial deste havia sido proposto o uso da reanálise ERA 5. Entretanto, com o lançamento da plataforma inovadora proposita pela NASA, optou-se então por realizar a mudança da referida base de dados o bits através da modelagem numérica (nesse contexto, chamada reanálise).

A plataforma de dados da NASA tem como principal objetivo fornecer aos usuários através de uma interface amigável de dados ambientais visando a sua utilização para pesquisas. Diferente da plataforma da reanálise ERA 5 (proposta inicial deste projeto), os usuários conseguem através da interface proposta pela NASA obter séries temporais dos parâmetros ambientais para diferentes coordenadas geográficas com saída em formato .csv. O objetivo da NASA nesta nova interface amigável é observar, compreender e modelar o sistema terrestre para descobrir como ele está mudando, para prever melhor as mudanças e para compreender as consequências para a vida na Terra. O projeto Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) foi iniciado para melhorar o conjunto de dados de energia renovável atual e para criar novos conjuntos de dados a partir de novos sistemas de satélite. O projeto POWER visa três comunidades de usuários: (1) Energia Renovável, (2) Edifícios Sustentáveis e (3) Agroclimatologia.

4 Resultados

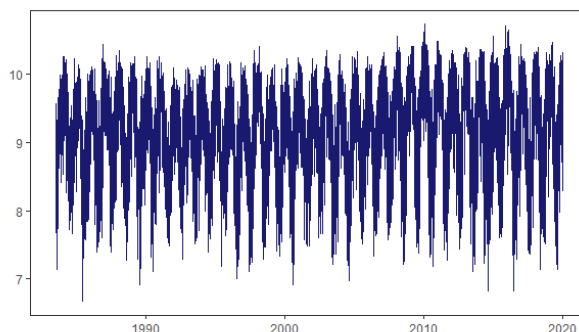


Figura 2: Série temporal da radiação global na cidade de Duque de Caxias entre 1982 e 2020 obtidos através da reanálise da NASA.

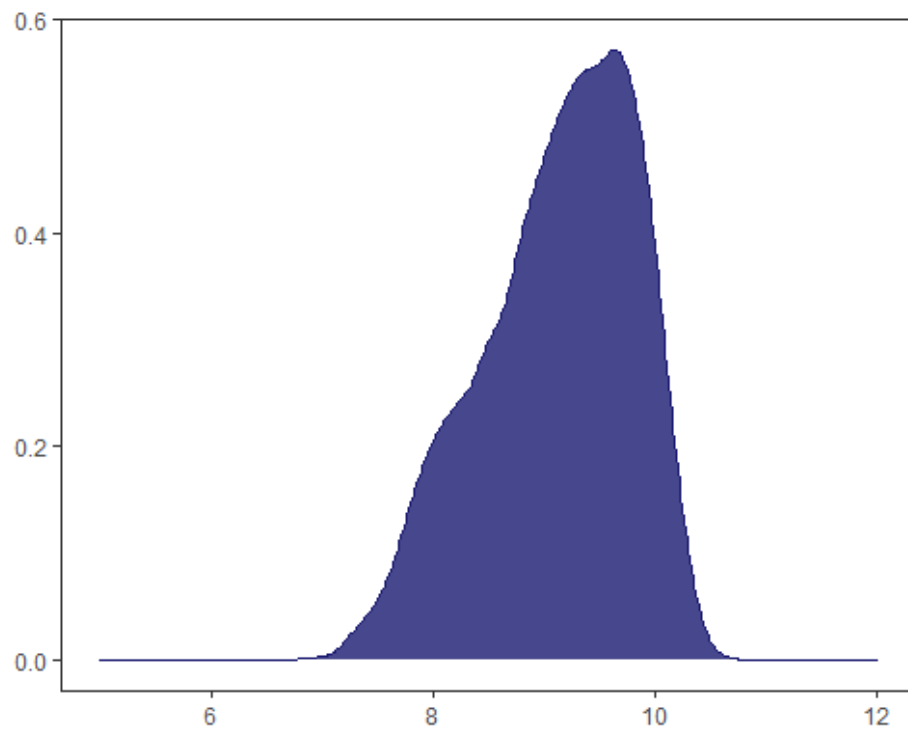


Figura 3: Distribuição densidade de probabilidade da radiação global na cidade de Duque de Caxias entre 1982 e 2020 obtidos através da reanálise da NASA.

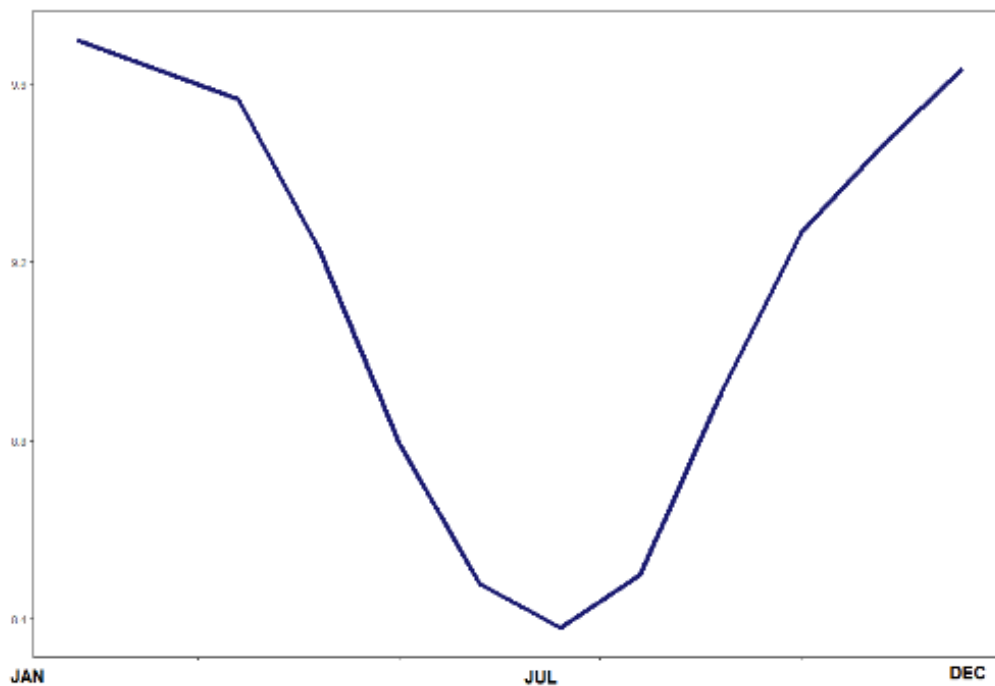


Figura 4: Dados mensais da radiação global na cidade de Duque de Caxias entre 1982 e 2020 obtidos através da reanálise da NASA.

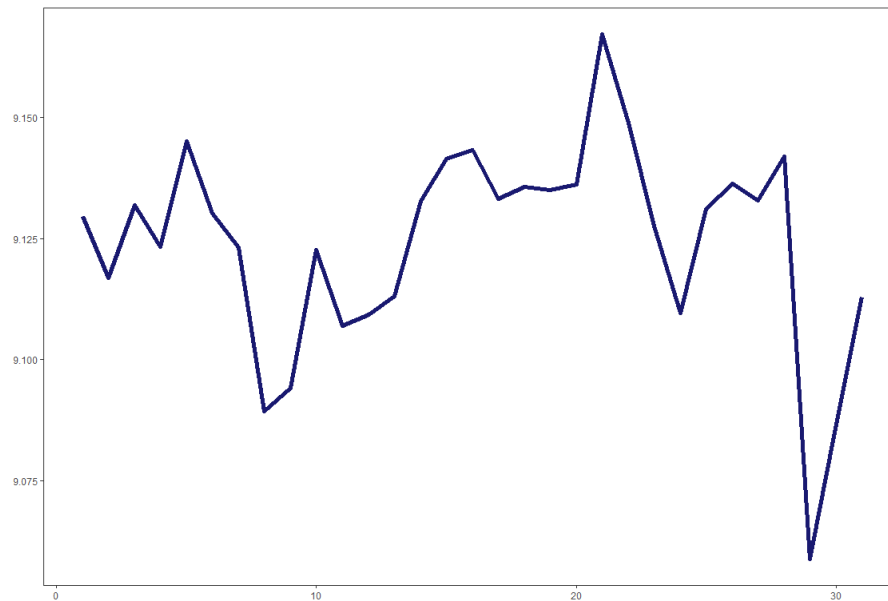


Figura 5: Dados diários da radiação global na cidade de Duque de Caxias entre 1982 e 2020 obtidos através da reanálise da NASA.

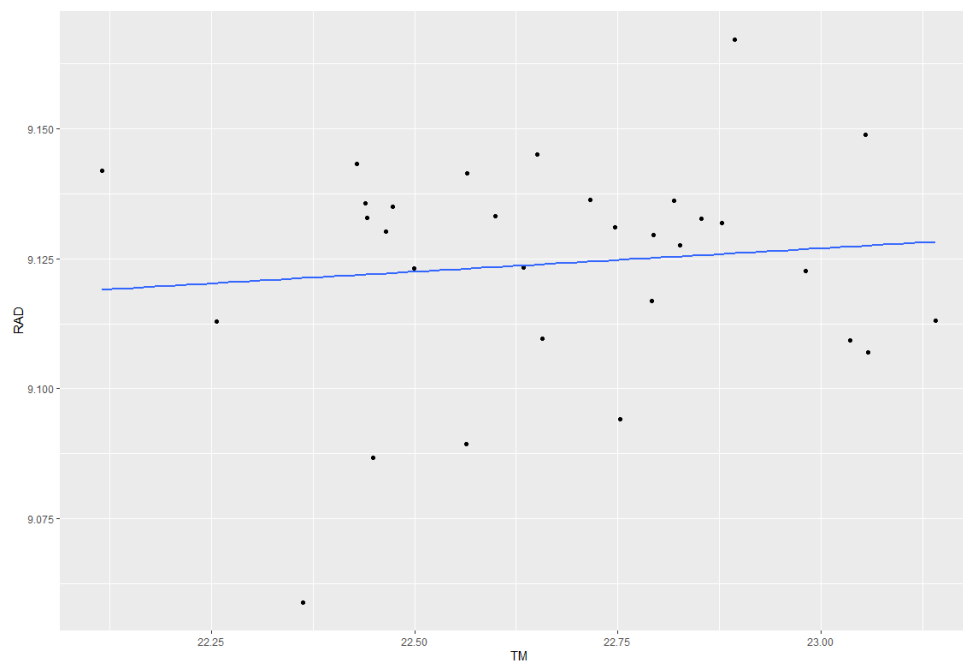


Figura 6: Regressão linear utilizando os dados da NASA e os dados de temperatura do ar para a cidade de Duque de Caxias.

Regressão linear: Call: lm (formula = RAD ~ TM, data = df2) e
Coefficients: (Intercept) TM 8.920182 0.008991.

Regressão múltipla: Call: lm (formula = RAD ~ TM + TD + PM, data = df2)
e Coefficients: (Intercept) TM TD PM -8.9583951 0.0004443
0.0901725 0.0161659

Conclusão

Através do levantamento e tratamento dos dados da radiação global da reanálise da NASA foram inicialmente geradas duas formas de exibição gráfica, ou seja, as Figuras 2 e 3. A Figura 2 caracteriza a série temporal dos dados horários da radiação global (em KW/h por m²) para a cidade de Duque de Caxias entre 01/01/1982 e 31/12/2020. A Figura 3 caracteriza a distribuição densidade de probabilidade destes mesmos dados. Através da Figura 2 verifica-se que a série temporal dos dados de radiação global apresenta um comportamento do tipo senoidal/cosseinodal, com menores valores entre a noite e a madrugada e maiores valores durante o dia. Tal característica corrobora o padrão esperado desta variável, isto é, em função dos movimentos de rotação da Terra. A rotação é o movimento que a Terra realiza em torno de seu próprio eixo. Assim, a principal consequência é a existência alternada entre os dias e as noites, pois, se não houvesse esse movimento, haveria apenas dia em um lado do planeta (que seria extremamente quente) e apenas noite no outro lado (que seria extremamente frio). Através da Figura 3 pode-se observar que os dados de radiação global apresentam uma distribuição assimétrica à esquerda (ou negativa). Tal característica mostra que nesta série a moda é maior que a mediana e a média. Este padrão de distribuição importante para a geração de potencial solar na região, pois caracteriza a existência de dias/horas com maiores valores de radiação em relação aos dias/horas com menores valores da mesma.

Através da Figura 4, verificou-se, como esperado, menores valores de radiação solar durante o inverno e maiores valores durante o verão. Porém, considerando a variabilidade diária pode-se observar (Figura 5) uma menor variação deste parâmetro meteorológico em função dos sistemas transientes da atmosfera que passam sobre a região de estudo favorecendo então uma maior homogeneidade nesta escala temporal de análise. A Figura 6 mostra o resultado da análise de regressão linear considerando os dados de temperatura do ar e radiação solar. Verifica-se uma relação positiva entre estas duas variáveis corroborando o princípio físico da troca de energia entre o Sol e a superfície da terra. Em seguida, são apresentados os coeficientes obtidos pela regressão linear e regressão múltipla. Verifica-se através do p-value que apenas a variável Temperatura do Ar apresentou maior confiabilidade para a estimativa da radiação solar (valores abaixo de 0.05).

Referências

- ESTENDER, A.C; PITTA, T. T. M. (2008) O conceito do desenvolvimento sustentável. São Paulo, 2008.
- GOOGLE EARTH (2020) Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/>>. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

IBGE (2020) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

PEREIRA, E, B *et al* (2017) Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2, ed. São José dos Campos, SP.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A. *et al*. (2014) Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

SENADO (2020). Conferência Rio-92 sobre o meio ambiente do planeta: desenvolvimento sustentável dos países. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx>. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

SILVA, C. B. (2011) A responsabilidade social e sua importância nas organizações. Rio de Janeiro.

SILVA, F.P. (2019) Previsão de tempestades severas e de transbordamentos no rio Quitandinha – Petrópolis – RJ. Tese de Doutorado, UFRJ. Rio de Janeiro.