

TECNOLOGIA & CULTURA

Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
Cefet/RJ | N. 36 | Ano 23 | ago./dez. 2020

TECNOLOGIA & CULTURA



CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA

Ministério da Educação - MEC
Secretaria de Educação Profissional
e Tecnológica - SETEC

CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA
TECNOLOGIA & CULTURA - Revista do Cefet/RJ
N.36, Ano 23 - ago./dez. 2020
Tiragem: 300 exemplares
Edição eletrônica: <http://revistas.cefet-rj.br/>
Av. Maracanã, 229 - Rio de Janeiro/RJ
CEP 20271-110
Telefone geral: (21) 2566-3022 r. 3160
Telefax: (21) 2284-6021
<http://www.cefet-rj.br>
E-mail: revista@cefet-rj.br

Diretor-Geral

Antonio Mauricio Castanheira (*pro tempore*)

Vice-Diretora

Sílvia Cristina Rufino

Diretora de Ensino

Francisco Madureira de Ávila Pires

Diretor de Pesquisa e Pós-Graduação

Wladimir Henriques Motta

Diretor de Gestão Estratégica

Fernando Neves Pereira

Diretor de Extensão

Sonia Regina Mendes dos Santos

Diretor de Administração e Planejamento

Alexandre Cardoso Quintanilha

Presidente do Comitê Técnico-Científico

Marcelo Borges Rocha (Cefet/RJ)

Conselho Editorial:

Adelaide Maria de Souza Antunes (UFRJ/INPI)

Cristina Gomes de Souza (Cefet/RJ)

Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes (Ibmec/RJ)

Maria Lucia Alvares Maciel (UFRJ/SBPC/IBICT)

Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco (Cefet/RJ)

Comitê Técnico-Científico:

Tecnologia & Sociedade

Marco Braga (Cefet/RJ)

Ana Margarida Campello (Fiocruz)

Carlos Fiolhais (Universidade de Coimbra - Portugal)

Gaudêncio Frigotto (UFF)

Guilherme Cordeiro da Graça de Oliveira (UFRJ)

Heloisa Helena Albuquerque Borges Quaresma Gonçalves (UNIRIO)

Isabel Malaquias (Universidade de Aveiro - Portugal)

Marisa Brandão (Cefet/RJ)

Olival Freire Junior (UFBA)

Pedro Henrique Ribeiro de Souza (Cefet/RJ)

Regina Viegas (Cefet/RJ)

Pedro Miguel Marques da Costa (Universidade de Lisboa)

Tecnologia & Gestão

Antonio Pithon (Editor - Cefet/RJ)

Antônio Mauricio Castanheira das Neves (Cefet/RJ)

José Dinis Carvalho (Universidade do Minho - Portugal)

José Luiz Fernandes (Cefet/RJ)

Luis Enrique Valdiviezo Vieira (Uenf)

Marcelo Fonseca Monteiro de Sena (IFRJ)

Rui Manoel Souza (Universidade do Minho - Portugal)

Tecnologia & Inovação

Hector Reynaldo (Editor - Cefet/RJ)

Américo Scotti (Universidade Federal de Uberlândia)

Ari Sauer Guimarães (UFRJ)

Carlos Henrique Figueiredo Alves (Cefet/RJ)

Dayse Haime Pastore (Cefet/RJ)

Ivani de Souza Bott (PUC-Rio)

Marcelo Borges Rocha (Cefet/RJ)

Maurício Motta (Cefet/RJ)

Thiago Thielmann de Araújo (UVA)

Meio Ambiente e Educação Ambiental

José Renato Pin (CEFET/RJ)

Marcelo Borges Rocha (CEFET/RJ)

Úrsula Maruyama (CEFET)

Editoria

Marcelo Borges Rocha

Revisão

Natasha Juliana Mascarenhas Pereira

Biblioteca Central

Mariana de Oliveira Caruso Carvalho

Projeto Gráfico/Diagramação

Divisão de Programação Visual - DPROV

Fernando da Silveira Bracet

Isabela Menezes da Silva Devonish

Thaís Cabral Pires Alves

Impressão

Setor Gráfico do Cefet/RJ

Observações

Os conteúdos dos artigos publicados nesta revista são de inteira responsabilidade de seus autores. Proibida a reprodução total ou parcial desta obra sem autorização dos autores.

Tecnologia & Cultura. _ Nº 36, Ano 23 (ago./dez. 2020) -
Rio de Janeiro : Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2020.
v. : il.; 28 cms.

Semestral
ISSN 1414-8498

I. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso
Suckow da Fonseca

CONCEITO E PROJETO DE UM HOMOGENEIZADOR AUTOMÁTICO PARA BANCOS DE LEITE HUMANO – UM PROTÓTIPO PRELIMINAR	6
José Santos Maia Alessandro Rosa Lopes Zachi Cristiano de Souza de Carvalho Danielle Aparecida da Silva Julio Cesar Valente Ferreira	
ANÁLISE DE RISCO PARA OS PROGRAMAS DE INTEGRIDADE (COMPLIANCE): O FORTALECIMENTO DA TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO	16
Fernando Augusto Macedo de Melo	
PRÁTICAS DE TELECOMUNICAÇÕES COM BASE EM INSTRUMENTOS DE BANCADA	25
Bryan S. Duarte Gílson A. Alencar	
COMPARAÇÃO ENERGÉTICA: MÉTODOS DE CLIMATIZAÇÃO SPOT COOLING E VOLUME TOTAL	35
Alexandre Silva de Lima Fábio Pinheiro Ribeiro	
PESQUISA COLABORATIVA PARA MELHORIA DA ACESSIBILIDADE DAS PCD AOS ÔNIBUS	45
Jerônimo Correia de Moraes Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa Aida Araújo Ferreira Amilton da Costa e Silva Jonathan A. Pereira Saint-Clair Ramos	
PROTÓTIPOS À BASE DE ARDUINO PARA MONITORAMENTO DE MEDICAMENTOS TERMOLÁBEIS	53
Wallice Medeiros de Souza Igor Leão dos Santos Camila Ganefé Ribeiro Moraes Letícia Ali Figueiredo Ferreira Eyko Medeiros Rios Vanessa Aparecida de Sá Machado	
APLICAÇÃO VOLT-WATT E VOLT-VAR NA REGULAÇÃO DE TENSÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO COM PRESENÇA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	64
Bruno Gonçalves de Oliveira Tiago Machado Wanzeller Patrik Coelho Lopes Paulo Ricardo Radatz de Freitas João Paulo Abreu Vieira	
GENERAL-PURPOSE TOOL FOR RELIABILITY AND AVAILABILITY ANALYSIS OF REPAIRABLE SYSTEMS	74
Alexandre Ribeiro Carla A. S. Geraldes João P. Almeida David Lira Nunez Thalita Monteiro Obal	
PROMOÇÃO DA SAÚDE NA ESCOLA: EDUCANDO ADOLESCENTES PARA A SAÚDE SEXUAL E REPRODUTIVA	85
Marina Luci Lima Gonçalves Margutti Aires Adriane Aline Griebeler Carine Amabile Guimarães Rosane Teresinha Fontana	
GESTÃO ÁGIL DA MEMÓRIA ORGANIZACIONAL: MUDANÇA NA CULTURA DA ORGANIZAÇÃO PARA MELHOR APROVEITAMENTO DO CAPITAL INTELECTUAL	91
Luiz Cláudio Gomes Maia João Paulo Carneiro Aramuni	
ANTECIPAR UM MEGAPROJETO: APLICAÇÃO DO MÉTODO TODIM A CRONOGRAMAS PROBABILÍSTICOS	99
Yarly Queiroz de Lima Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes	
SIG WEB SIGABEM: FERRAMENTA PARA AUXILIAR NA TOMADA DE DECISÃO	109
Anielise da Conceição Campêlo Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa Vânia Soares de Carvalho Aida Araújo Ferreira Frederico Carvalho Lúcia Recena	

ANÁLISE REGULATÓRIA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	122
Beatriz da Silva Reis Paulo Victor de Souza Borges	
SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA REÚSO DE ÁGUA EM INSTITUIÇÃO PÚBLICA	132
Myrna da Cunha Alexandre Martinez dos Santos João Terêncio Dias Cecília de Lauro Antunes Alexsandro Rodrigues Martins	
EFICIÊNCIA ECOLÓGICA DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS	142
Medardo Anibal Zambrano Arcentales María Elena Lienqueo Contreras Ronney Arismel Mancebo Boloy Víctor Abel Corro Herrera	
REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS, PRIMEIRA GERAÇÃO (1G) E SEGUNDA GERAÇÃO (2G)	149
Eyko Medeiros Rios Vanessa Aparecida de Sá Machado Wallice Medeiros de Souza Ronney Arismel Mancebo Boloy	

Prezada comunidade acadêmica do Cefet/RJ e de universidades e escolas brasileiras,

Estamos publicando mais um número da nossa revista *Tecnologia & Cultura*. Os artigos publicados refletem a qualidade das pesquisas que estão sendo desenvolvidas no Brasil e em outros países.

A *Tecnologia & Cultura* está inserida em um contexto onde a produção do conhecimento é a premissa básica e, com isso, objetivamos fortalecer o diálogo entre os pesquisadores e a população. Destacamos, assim, a importância de nossa instituição para o ensino e a pesquisa no Brasil.

Temos como metas futuras ampliarmos nossas publicações e alcançarmos o padrão das melhores revistas brasileiras. Dessa forma, queremos convidar cada vez mais parceiros para que divulguem suas pesquisas e ações em nossas próximas edições.

Prof. Marcelo Borges Rocha
Editor da revista *Tecnologia & Cultura*

CONCEITO E PROJETO DE UM HOMOGENEIZADOR AUTOMÁTICO PARA BANCOS DE LEITE HUMANO – UM PROTÓTIPO PRELIMINAR

José Santos Maia

Alessandro Rosa Lopes Zachi

Cristiano de Souza de Carvalho

Danielle Aparecida da Silva

Julio Cesar Valente Ferreira

RESUMO: Este trabalho apresenta os resultados preliminares do projeto e montagem de um protótipo de homogeneizador automático a ser aplicado no processo de pasteurização em bancos de leite humano. O mecanismo do protótipo é basicamente composto por um conjunto de motores de passo independentes, acionados por um microcontrolador com *firmware* dedicado. O protótipo foi desenvolvido em parceria com o banco de leite humano do Instituto Fernandes Figueira (IFF/Fiocruz) no Rio de Janeiro, Brasil. Entre as contribuições que podem surgir após a automatização do processo, é importante mencionar a redução de erros dos procedimentos manuais, o aumento da produção de leite pasteurizado e melhorias nas questões de saúde dos trabalhadores que podem ser alcançadas por melhores condições ergonômicas do serviço.

Palavras-chave: Inovação tecnológica. Banco de leite humano. Homogeneizador de leite.

ABSTRACT: This work presents the preliminary results with the design and assembly of an automatic homogenizer prototype to be applied in the pasteurization process at Human Milk Banks. The prototype mechanism is basically composed by a set of independent step motors driven by a microcontroller electronic circuit with a dedicated firmware. The prototype was developed in partnership with the Human Milk Bank of the Fernandes Figueira Institute (IFF/Fiocruz) at Rio de Janeiro, Brazil. Among the contributions that may arise after the process automation, it is worth mentioning the reduction of manual procedure errors, the increase of daily production of pasteurized milk, and improvements on worker health issues that can be achieved by better ergonomic conditions of the service.

Keywords: Technological innovation. Human milk banking. Milk homogenizer.

INTRODUÇÃO

A Rede Nacional de Bancos de Leite Humano do Brasil (RNBLH), com sede na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), no Rio de Janeiro, é a maior e mais bem estruturada rede de bancos de leite humano (BLHs) do mundo (GIUGLIANI, 2002). Atualmente, conta com 225 BLHs e 216 postos de coleta espalhados por todo o país. Esse é o resultado do esforço de um grupo atuante, liderado pelo Dr. João Aprígio Guerra de Almeida, coordenador da RNBLH e de toda a sua equipe de especialistas. Desde 1985, um novo paradigma tem norteado as ações dos bancos de leite humano no Brasil – eles deixam de ser simplesmente um local de coleta de um produto que era comercializado, para se engajarem na promoção do aleitamento materno, constituindo-se em importante estratégia de política governamental em prol da amamentação. O trabalho desenvolvido pela RNBLH do Brasil tem sido reconhecido internacionalmente, e foi merecedor do Prêmio de Saúde Sasakawa da OMS em 2001 (GIUGLIANI, 2002; MAIA *et al.*, 2006).

Segundo Giugliani (2002), uma das prioridades dos BLHs no Brasil é atender às mães de recém-nascidos pré-termo (prematurados) e de baixo peso internados em unidades hospitalares. Até há pouco tempo, o leite materno era pouco valorizado na alimentação dos recém-nascidos com baixo peso. Hoje, no entanto, a literatura é quase unânime em recomendar leite materno para os recém-nascidos prematuros, incluindo os de muito baixo peso. E isso se deve ao crescente número de evidências epidemiológicas que mostram a importância do leite humano materno para esses recém-nascidos, não só para a sua sobrevivência, mas também para a sua qualidade de vida. Proteção contra infecções em geral e o estímulo à ligação mãe-filho são algumas das vantagens que, por si só, já justificariam a opção de alimentar o recém-nascido prematuro com leite materno e/ou leite de BLHs. No entanto, quando se considera o fato de que as repercussões do aleitamento materno para a saúde dos indivíduos vão muito além do período de amamentação, provavelmente para o resto da vida, a opção pelo leite materno, para todos os recém-nascidos e em especial para os prematuros, se torna imperiosa.

O Centro de Referência Nacional da RNBLH, da Fiocruz, fica no Instituto Fernandes Figueira (IFF) no Rio de Janeiro. Este centro tem como um dos objetivos desenvolver metodologias de controle de qualidade do leite ordenhado e armazenado, adaptadas às necessidades e à realidade de nosso país, sem prejuízo da se-

gurança e da qualidade dos métodos e procedimentos (GIUGLIANI, 2002). Segundo a Norma Técnica BLH-IFF/NT-34.11 (ALMEIDA; NOVAK; GUIMARÃES, 2011) e a Resolução nº 171 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006), o leite humano ordenhado destinado ao consumo de recém-nascidos, particularmente os internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), não deve apresentar micro-organismos em quantidade ou qualidade capazes de representar agravos à saúde. Dessa forma, é preciso que se disponha de procedimentos capazes de assegurar a qualidade sanitária do leite humano ordenhado.

O processo de pasteurização representa uma alternativa eficaz, há muito conhecida e praticada no campo de Tecnologia de Alimentos (EWASCHUK; UNGER *et al.*, 2015). Trata-se de um tratamento térmico aplicável ao leite humano que adota como referência a inativação térmica da bactéria *Coxiella burnetti* (CERF; CONDRON, 2006), por ser considerado o micro-organismo patogênico mais termoresistente. Uma vez que o processo consegue atingir os valores de temperatura de inativação e de tempo de exposição capazes de inativar esse microrganismo, pode-se assegurar que os demais patógenos também serão termicamente inativados. A pasteurização não visa à esterilização do leite humano ordenhado, mas sim a uma letalidade que garanta a inativação de 100% dos micro-organismos patogênicos passíveis de estarem presentes (GIUGLIANI, 2002; SILVA *et al.*, 2007; BRANCO *et al.*, 2016). Como forma de manter a qualidade e uniformização do processo de pasteurização do leite humano ordenhado, foram elaboradas e aprovadas várias normas técnicas de procedimentos, que são seguidas por todos os BLHs espalhados pelo Brasil. Contudo, ao longo dos anos, têm sido identificados alguns pontos críticos nesses procedimentos que, infelizmente, podem acarretar descarte de leite desnecessariamente. Além disso, alguns dos procedimentos normalizados são executados manualmente, por meio de ações repetitivas, ou são realizados por inspeção visual que podem acarretar fadiga nos operadores. Essas características do dia a dia dos BLHs influenciam diretamente na saúde dos operadores e na qualidade do produto final do processo de pasteurização.

SITUANDO O PROBLEMA

Nos BLHs, o processo de pasteurização segue o método de Holder (ARSLANOGLU *et al.*, 2010) que consiste em aquecer os frascos com leite por 30 minutos, em banho-maria, a

uma temperatura de 62,5°C e, em seguida, resfriá-los a uma temperatura de aproximadamente 5°C, conforme os regulamentos e normas em (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006; ALMEIDA; NOVAK; GUIMARÃES, 2011). Após a coleta, os frascos de leite humano ordenhado (LHO) são identificados – Figura 1(a) – e armazenados em *freezers* para serem pasteurizados posteriormente – Figura 1(b). No início do processo – Figura 1(c) –, os frascos de leite armazenados são descongelados e submetidos a uma etapa de pré-aquecimento – Figura 1(d). Nessa etapa, eles são aquecidos em banho-maria, dentro da

cupa de pasteurização, até que suas temperaturas atinjam o valor de 62,5°C. Como o leite fica em repouso por um longo período de tempo, a parte lipídica (fração emulsão) se precipita da parte aquosa (fração solução), conforme ilustrado na imagem da Figura 2(a). Para que o processo de pasteurização atinja seu objetivo, é necessário que a parte dos lipídeos (gordura) esteja homogeneizada à parte aquosa do leite, a fim de aumentar a penetração da temperatura e manter o aquecimento uniforme. É nessa etapa que a homogeneização do leite se faz importante – Figura 1(e).

Figura 1: Algumas etapas do processo de pasteurização: (a) Identificação dos frascos de leite doado; (b) Armazenamento/entrada; (c) Armazenamento/saída; (d) Descongelamento; (e) Aquecimento e homogeneização; (f) Análise de acidez; (g) Registro manual; (h) Medição da quantidade de gordura.

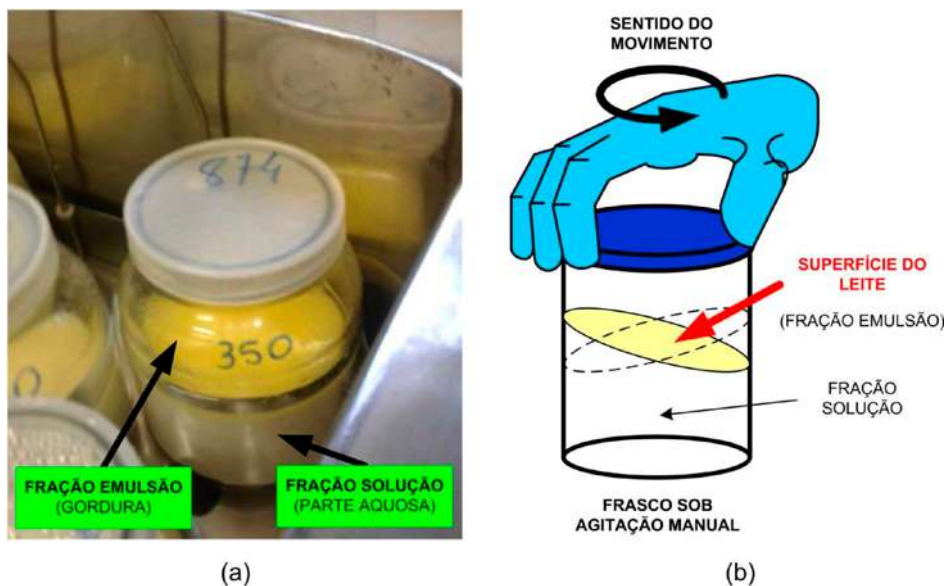


Fonte: Cortesia do Banco de Leite Humano do Instituto Fernandes Figueira (IFF/Fiocruz), Rio de Janeiro

No entanto, o processo de aquecimento pode provocar alterações nesse alimento, dependendo da intensidade da temperatura e do tempo de exposição. Dessa forma, moléculas de proteínas importantes podem ser desnaturadas, enzimas desativadas, lipídeos oxidados, vitaminas e pigmentos modificados (BORGIO, 2011). Assim, para efetuar a homogeneização adequada durante o processo de aquecimento em banho-maria, cada frasco é agitado manualmente por um técnico capacitado, de forma lenta e cadenciada, em intervalos de 5 minutos, como pode ser visto na imagem da Figura 1(e). Na Figura 2(b), segue uma imagem ilustrativa mais

detalhada da homogeneização manual executada em cada frasco. Em paralelo, a temperatura do leite é medida e anotada em uma tabela de registros de forma manuscrita. O objetivo do registro da temperatura é fazer um levantamento para a análise da curva de penetração do calor, porque a máxima variação da temperatura do leite admitida durante o aquecimento é de 0,5°C. Como nesse processo ocorre uma operação manual, há o risco de perda da qualidade do leite durante o processo, devido aos erros de medição e de operação do técnico de saúde, além da possibilidade de causar fadiga e lesão por esforço repetitivo (LER).

Figura 2: (a) Frasco de leite humano no banho-maria antes da homogeneização. Detalhe da separação da fase lipídica (fração emulsão) da parte aquosa (fração solução); (b) Homogeneização manual do frasco de leite



Fontes: (a) Cortesia do Banco de Leite Humano do Instituto Fernandes Figueira (IFF/Fiocruz), Rio de Janeiro; (b) Autoria própria.

SOLUÇÕES EXISTENTES – UMA BREVE REVISÃO SOBRE O ESTADO DA TÉCNICA

Um pasteurizador industrial é um equipamento caro e, geralmente, devido à forma de processamento do produto, muitas vezes não é adequado para processar o leite humano ordenhado em um banco de leite humano (BHARADVA *et al.*, 2014; AGARWAL; IDRISI, 2016; DEYNICHENKO *et al.*, 2018). Um método que vem sendo investigado recentemente é a pasteurização por ultrassom (CZANK; SIMMER; HARTMANN, 2010). A pasteurização ultrassônica (20-100 kHz) é uma tecnologia emergente para a preservação de alimentos que utiliza o princípio da indução de cavitação inercial. A cavitação inercial consiste na formação de bolhas microscópicas que colapsam rapidamente, produzindo ondas de choque e aquecimento localizado (POVEY; MASON, 1998; PIYASENA; MOHAREB; MCKELLAR, 2003). Essas forças mecânicas interrompem as membranas celulares levando à homogeneização do leite. Já foram publicados na literatura estudos anteriores que utilizaram a pasteurização ultrassônica para eliminar, de forma eficaz, vários patógenos de origem alimentar, incluindo *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus subtilis* de leite bovino e sucos de frutas (PIYASENA; MOHAREB; MCKELLAR, 2003). Aplicações de ultrassom de altas e baixas frequências têm sido investigadas por muitos anos na indústria de fermentação. De acordo com a referência (NOVOA-DÍAZ *et al.*, 2014), o ultrassom de alta fre-

quência vem sendo utilizado como uma técnica analítica não destrutiva para monitorar processos de fermentação. Sua utilização em processos de pasteurização e homogeneização de leite humano também já foi discutida em alguns trabalhos, como os de Martinez *et al.* (1987), Thomaz, Gonçalves e Martinez (1999) e Czank, Simmer e Hartmann (2010). Ojha *et al.* (2017) e Monteiro *et al.* (2018) reportam várias outras aplicações de ultrassom em processos de beneficiamento de alimentos na indústria alimentícia.

MOTIVAÇÃO

Embora a utilização dessas tecnologias de homogeneização venha sendo desenvolvida e discutida nas referências citadas anteriormente, são poucos ou escassos os detalhamentos sobre suas implementações práticas. Outro fato que merece ser destacado é que existem alguns tipos de soluções tecnológicas reportadas na literatura que não são adequadas à realidade dos BLHs, porque foram desenvolvidas para processamento de grandes quantidades de leite (INNINGS, 2015) ou utilizam mecanismos de homogeneização por pressurização (OGATA, 1986). Neste trabalho, propõe-se uma solução tecnológica para o problema de homogeneização de leite. Trata-se do protótipo de um mecanismo, a ser incorporado aos equipamentos existentes em BLHs, para realizar a movimentação automática dos frascos de leite dentro da cuba de aquecimento.

SOLUÇÃO PROPOSTA

O mecanismo do protótipo é composto por uma estrutura metálica que suporta uma plataforma rígida, horizontal e retangular na qual a bandeja com os frascos de leite é fixada. A plataforma é apoiada fisicamente por quatro motores de passo que se encontram fixados em cada um dos vértices. Nesta proposta, a montagem é idealizada de forma que os vértices da plataforma possuam apenas movimento vertical. O dimensionamento do protótipo foi projetado para que toda a estrutura possa ser encaixada no equipamento de banho-maria existente no BLH do IFF/Fiocruz. O conceito proposto do agitador (homogeneizador) é ilustrado na Figura 3.

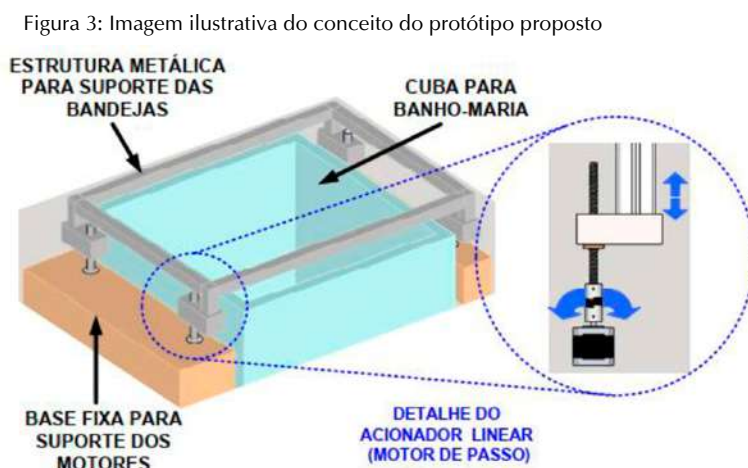


Figura 3: Imagem ilustrativa do conceito do protótipo proposto

MATERIAIS E MÉTODOS

Com a intenção de aproveitar a infraestrutura de equipamentos já existente no Banco de Leite Humano do Instituto Fernandes Figueira (IFF/Fiocruz), no Rio de Janeiro, a ideia inicial foi desenvolver um protótipo com estrutura portátil e reconfigurável. Partindo dessa ideia, foi escolhida a solução de se manterem as cubas de banho-maria já existentes no IFF e construir um módulo agitador que pudesse ser acoplado/encaixado a elas. Na Figura 4, tem-se um diagrama em blocos simplificado do protótipo proposto. Toda a estrutura móvel do protótipo do agitador foi construída com perfis de alumínio estrutural que, além de leves, são mecanicamente fortes e resistentes à oxidação, o que é uma característica importante, já que estará inserido em um ambiente com bastante umidade durante os ensaios *in loco*. Para a parte de movimento, foram usados motores de passo, por serem bastante utilizados em máquinas-ferramenta de pequeno e médio porte (KOSAKA *et al.*, 2010; MADEKAR *et al.*, 2016; ANTIPIN *et al.*, 2018), dadas as características de disponibilidade de aquisição e facilidade de acionamento. O sistema eletrônico do protótipo é constituído de placas com microcontrolador, circuitos de potência para acionamento dos motores, sensores de fim de curso para a segurança e para o controle dos movimentos, mostrador de caracteres e *joystick*. Como cerne do sistema eletrônico, são utilizados microcontroladores para monitorar os estados dos sensores, para controlar o acionamento ordenado dos motores e para promover uma comunicação do protótipo com um computador de bancada para armazenamento de dados. Além das funções mencionadas anteriormente, o programa *firmware* de controle do microcontrolador também

é responsável pelo registro da temperatura do processo realizado por um termopar. Todos os valores de temperatura são registrados em uma memória interna durante o tempo do processo de pasteurização e posteriormente são gravados em um dispositivo de memória tipo *pen drive* em formato de arquivo CSV (*comma separated values*), que é compatível com as planilhas eletrônicas do programa Excel.

CONTRIBUIÇÕES PRETENDIDAS

Após o desenvolvimento e o ajuste do protótipo ao processo de pasteurização, espera-se que a modernização proposta neste trabalho possa:

- garantir a repetição de tarefas com precisão e segurança;
- auxiliar os técnicos do BLH nas tarefas diárias do processo de pasteurização do leite humano ordenado;
- evitar desperdícios por falha humana, por falha de procedimento ou por fadiga do técnico de saúde;
- aumentar a qualidade do produto final seguindo as normas de segurança sanitária e alimentar e;
- aumentar a produção diária de litros de leite para o consumo.

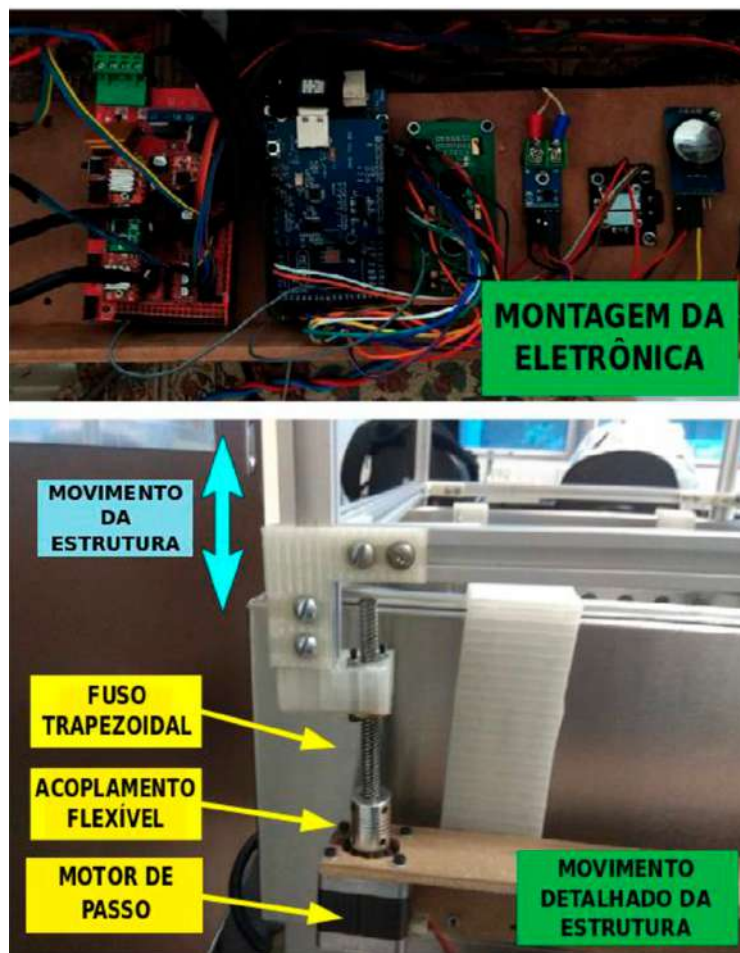
DESENVOLVIMENTOS

O movimento de agitação desejado para a plataforma homogeneizadora é alcançado graças ao circuito eletrônico com microcontrolador

representado na Figura 4 (na parte superior) que aciona cada motor de passo de acordo com uma lei de controle adequada. Como pode ser observado na Figura 4 (na parte inferior), em cada vértice existe um parafuso (fuso trapezoidal) alinhado e fixado ao eixo do motor de passo responsável pelo deslocamento desse vértice, que o desloca para cima ou para baixo de acordo com a direção de rotação do motor. O acoplamento mecânico é feito por meio de um acoplamento flexível. A principal característica do protótipo proposto é que as rotações dos motores (e, consequente-

mente, dos fusos trapezoidais) não causam deslocamento lateral da plataforma. Dessa maneira, os movimentos verticais combinados são suficientes para inclinar a plataforma em várias direções, produzindo, assim, o perfil de agitação desejado, ocupando muito pouco espaço da área de trabalho. Na Figura 5, para fins de exemplificação, segue a ilustração dos movimentos dos motores e do tipo de movimento desejado para os frascos dentro do banho-maria. Os ângulos de inclinação da plataforma são pequenos o suficiente para evitar o deslizamento dos frascos sobre a mesma.

Figura 4: Imagens detalhadas do primeiro protótipo montado

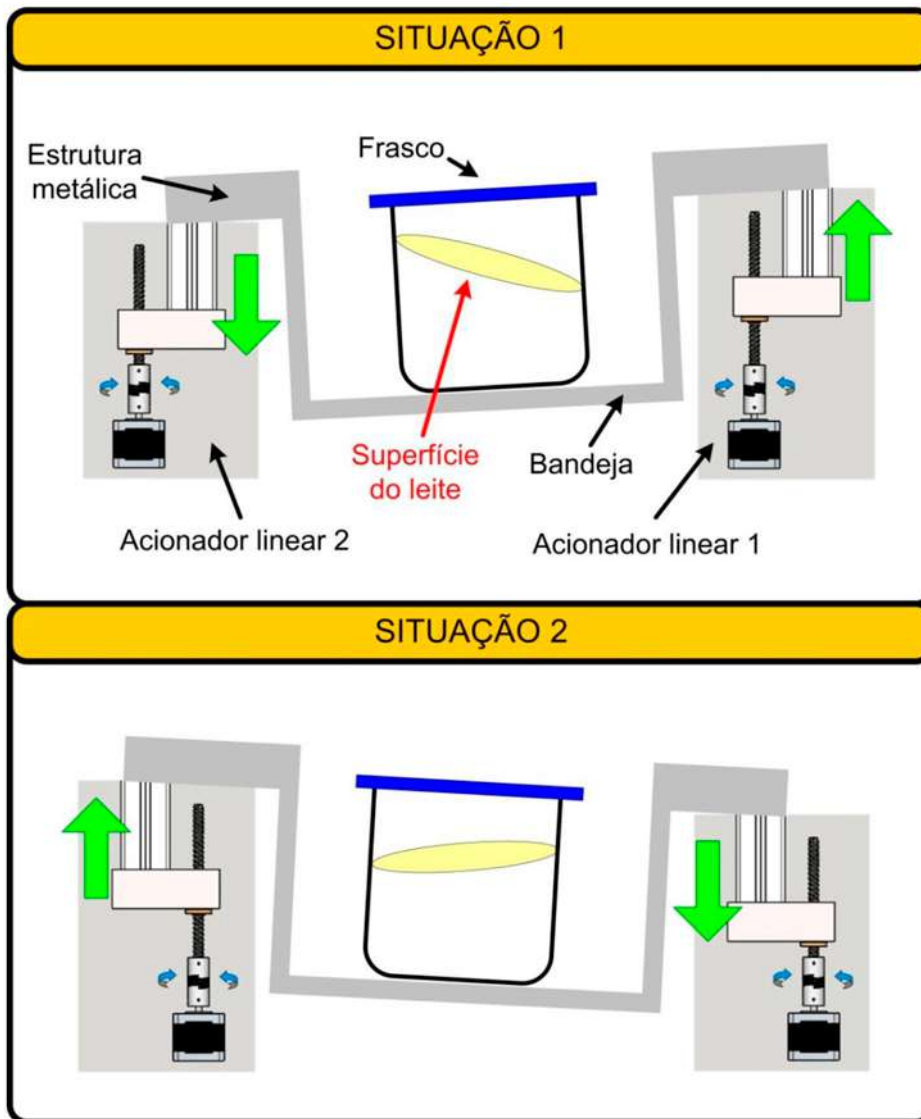


TESTES E RESULTADOS PRELIMINARES

Uma imagem do protótipo preliminar do homogeneizador é mostrada na Figura 6. A foto da Figura 7 foi tirada durante alguns ensaios experimentais e testes no BLH do IFF/Fiocruz em maio de 2019. Após a consolidação deste projeto, espera-se que, além de contribuir para os aspectos de segurança alimentar e nutricional do leite humano ordenhado e pasteurizado, já que a automatização do processo deverá garantir uma distribuição

uniforme do calor, aumentando a eficiência da pasteurização, além de também contribuir para as condições ergonômicas do serviço, reduzindo problemas de saúde dos operadores. Os próximos passos são: (a) realizar testes com a bandeja com todos os frascos para verificar se os motores são os adequados; (b) realizar testes com os frascos em banho-maria para calcular a eficiência do sistema; (c) realizar automatização de medições de temperatura; (d) investigar métodos para atenuação do ruído produzido pelos motores de passo.

Figura 5: Exemplos ilustrativos dos movimentos desejados produzidos pelo protótipo



CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

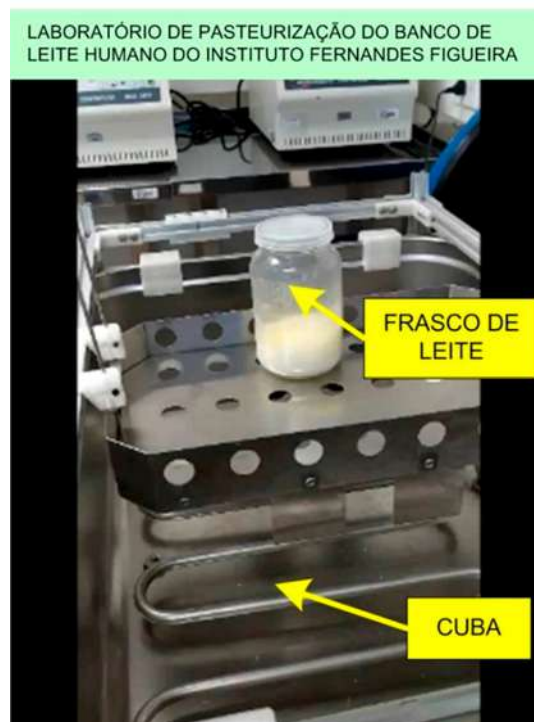
O protótipo funcional, que foi desenvolvido em seguida, foi desenhado para possuir uma estrutura leve em alumínio, para sustentar os motores de passo e que pudesse ser bem encaixada nas cubas de banho-maria, aproveitando toda a infraestrutura existente no BLH-IFF. Algumas peças da parte estrutural foram desenhadas em programas específicos como o SketchUp e impressas em impressoras 3D. A parte eletrônica foi montada utilizando placas, sensores e dispositivos com larga disponibilidade no mercado. Após a instalação do protótipo

no equipamento de banho-maria, foram feitos vários ensaios para a determinação da configuração de velocidade e amplitude de rotação e tempo de agitação dos frascos de leite que resultavam em uma melhor qualidade deste após a pasteurização. Como resultado dos ensaios, verificou-se que há uma faixa ampla de configurações que permitem que se alcance o resultado desejado e, dessa forma, foi selecionada a que apresentava menor consumo de energia, ligando a agitação em intervalos de tempo, já que o processo de separação dos lipídeos da parte aquosa do leite não ocorre instantaneamente quando o leite fica em repouso.

Figura 6: O protótipo funcional montado e em fase de testes no BLH do IFF/Fiocruz



Figura 7: Ensaios experimentais do protótipo funcional no BLH do IFF/Fiocruz



O homogeneizador automático deste trabalho de pesquisa, é um equipamento de uso específico para ser empregado no processo de pasteurização de leite humano ordenhado.

O protótipo de equipamento desenvolvido, montado e testado nesta pesquisa é uma máquina em estágio de desenvolvimento intermediário. Nesse sentido, há alguns estudos e desenvolvimentos que ainda podem ser realizados para melhorar o protótipo final:

- estudo do movimento de homogeneização com a bandeja imersa em água: nos testes experimentais realizados no BLH foi utilizado apenas um frasco de leite numa cuba de banho-maria vazia; no dia a dia do BLH, são pasteurizados vários frascos ao mesmo tempo e todos ficam mergulhados em água aquecida durante o processo;
- verificação da curva de penetração de calor no leite pasteurizado: a partir dos dados coletados de temperaturas do leite e da água do banho-maria, é levantada a curva de penetração de calor do processo; essa curva é de fundamental importância para o controle de qualidade do processo, mas, nesta pesquisa, não foi possível realizar esta verificação;
- comparação de desempenho entre o processo de homogeneização manual e o processo auxiliado pelo protótipo desenvolvido: esta etapa da pesquisa envolve um longo tempo para teste e coleta de dados e não foi realizada nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A.; IDRISI, A. H. Simulation and finite element analysis of compression head of a homogenizer to analyze the mechanical strength with change in material composition. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, Green Field Advanced Research Publishing House, v. 5, n. 9, p. 1-18, 2016.
- ALMEIDA, J. A. G.; NOVAK, F. R.; GUIMARÃES, V. *Norma Técnica BLH-IFF/NT-34.11: Pasteurização de Leite Humano Ordenado*, 2011. Disponível em: https://rblh.fiocruz.br/sites/rblh.fiocruz.br/files/usuario/79/nt_34.11_pas.
- ANTIPIN, A. *et al.* Application of the drive systems through the stepper motors in the process equipment, manipulators and pushers without feedback. In: IEEE. 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA). [S.l.], 2018.
- ARSLANOGLU, S. *et al.* Guidelines for the establishment and operation of a donor human milk bank: Italian association of human milk banks associazione italiana banche del latte humano donato (aiblud: www.aiblud.org). *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, Taylor & Francis, v. 23, n. sup2, p. 1-20, 2010.
- BHARADVA, K. *et al.* Human milk banking guidelines. *Indian pediatrics*, Springer, v. 51, n. 6, p. 469-474, 2014.
- BORGO, L. A. *Efeitos da pasteurização e do congelamento sobre a fração lipídica do leite humano*. Brasília: Faculdade de Ciências da Saúde. UNB, p. 125, 2011.
- BRANCO, M. B. L. R. *et al.* Proteção e apoio ao aleitamento materno: uma contribuição do banco de leite humano. *Revista de Pesquisa: Cuidado é Fundamental Online*, v. 8, n. 2, p. 4.300-4.312, 2016.
- CERF, O.; CONDRON, R. Coxiella burnetii and milk pasteurization: an early application of the precautionary principle. *Epidemiology & Infection*, Cambridge University Press, v. 134, n. 5, p. 946-951, 2006.
- CZANK, C.; SIMMER, K.; HARTMANN, P. E. Simultaneous pasteurization and homogenization of human milk by combining heat and ultrasound: effect on milk quality. *Journal of Dairy Research*, Cambridge University Press, v. 77, n. 2, p. 183-189, 2010.
- DEYNICHENKO, G. *et al.* Parameter optimization of milk pulsation homogenizer. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, v. 24, n. 1, p. 63-67, 2018.
- EWASCHUK, J. B. *et al.* Human milk pasteurization: benefits and risks. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, Wolters Kluwer, v. 18, n. 3, p. 269-275, 2015.
- FUSCH, G. *et al.*, "Bed side" human milk analysis in the neonatal intensive care unit: a systematic review. *Clinics in perinatology*, v. 44, p. 209-267, 2017.
- GIUGLIANI, E. R. J. Rede Nacional de Bancos de Leite Humano do Brasil: tecnologia para exportar. *Jornal de pediatria*, v. 78, n. 3 (2002), p. 185-186, 2002.
- HARTMANN, B. T. *et al.* Ensuring safety in donor human milk banking in neonatal intensive care. *Clinics in perinatology*, 44. p.131-149, 2017.
- INNINGS, F. High-pressure homogenizer design. *Engineering Aspects of Food Emulsification and Homogenization*. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 149-68, 2015.
- KOSAKA, T. *et al.* Design studies on hybrid excitation motor for main spindle drive in machine tools. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 57, n. 11, p. 3.807-3.813, 2010.
- MADEKAR, K. J. *et al.* Automatic mini CNC machine for PCB drawing and drilling. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, v. 3, n. 02, p. 1107-1108, 2016.
- MAIA, P. R. S. *et al.* Rede nacional de bancos de leite humano: gênese e evolução. *Rev. Bras. Saúde Matern. Infant.*, SciELO Brasil, v. 6, n. 3, p. 285-292, 2006.
- MARTINEZ, F. *et al.* Ultrasonic homogenization of expressed human milk to prevent fat loss during tube feeding. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, v. 6, n. 4, p. 593-597, 1987.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC 171, de 4 de setembro de 2006: Regulamento Técnico para o funcionamento de Bancos de Leite Humano. Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: <https://www20.anvisa.gov.br/segurancadopaciente/-/index.php/legislacao/\item/rdc-171-de-4-de-setembro-de-2006>. Acesso em: 11 jul. 2019.
- MONTEIRO, S. H. *et al.* Effects of ultrasound energy density on the non-thermal pasteurization of chocolate milk beverage. *Ultrasonics sonochemistry*, Elsevier, v. 42, p. 1-10, 2018.
- NOVOA-DÍAZ, D. *et al.* Ultrasonic monitoring of malolactic fermentation in red wines. *Ultrasonics*, Elsevier, v. 54, n. 6, p. 1575-1580, 2014.
- OGATA, K. *Homogenizer*. [S.l.]: Google Patents, 1986. U.S. Patent 4,585,357.
- OJHA, K. S. *et al.* Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics sonochemistry*, Elsevier, v. 34, p. 410-417, 2017.
- PIYASENA, P.; MOHAREB, E.; MCKELLAR, R. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International journal of food microbiology*, Elsevier, v. 87, n. 3, p. 207-216, 2003.
- POVEY, M. J.; MASON, T. J. *Ultrasound in food processing*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1998.
- SILVA, R. C. *et al.* Composição centesimal do leite humano e caracterização das propriedades físico-químicas de sua gordura. *Química Nova*, v. 30, n. 7, p. 1.535, 2007.
- THOMAZ, A. C. P.; GONCALVES, A. L.; MARTINEZ, F. E. Effects of human milk homogenization on fat absorption in very low birth weight infants. *Nutrition Research*, Elsevier, v. 19, n. 4, p. 483-492, 1999.

Dados dos autores

José Santos Maia (jose.maia@marinha.mil.br ; jmaia@gmail.com). Mestre em Engenharia Elétrica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – Cefet/RJ. Engenheiro de Tecnologia Militar da Marinha do Brasil.

Alessandro Rosa Lopes Zachi (alessandro.zachi@cefet-rj.br ; alessandrozachi@gmail.com). Doutor em Engenharia Elétrica, Professor Pesquisador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e do Departamento de Engenharia de Controle e Automação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – Cefet/RJ.

Cristiano de Souza de Carvalho (cristiano.carvalho@cefet-rj.br ; cristianosc13@gmail.com). Doutor em Engenharia Mecânica, Professor Pesquisador do Núcleo de Pesquisa em Mecatrônica e do Departamento de Engenharia Industrial de Controle e Automação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – Cefet/RJ.

Danielle Aparecida da Silva (danielle.silva@iff.fiocruz.br ; danielleadasilva@gmail.com). Doutora em Ciência da Saúde da Criança e da Mulher, Pesquisadora e Tecnologista Pleno do Departamento de Alimentação e Nutrição da Fundação Oswaldo Cruz e consultora técnica da Rede Iberoamericana de Bancos de Leite Humano.

Julio Cesar Valente Ferreira (julio.ferreira@cefet-rj.br ; jcvferreira@hotmail.com). Doutor em Memória Social, Professor Pesquisador do Núcleo de Pesquisa em Mecatrônica e do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – Cefet/RJ.

ANÁLISE DE RISCO PARA OS PROGRAMAS DE INTEGRIDADE (*COMPLIANCE*): O FORTALECIMENTO DA TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Fernando Augusto Macedo de Melo

RESUMO: A presente pesquisa foca na avaliação do risco para a integridade de forma a identificar fragilidades nas organizações que possibilitem a ocorrência de fraudes e atos de corrupção a partir de uma experiência vivenciada pelos autores em uma empresa do setor de *Utilities* listada em bolsa de valores no Brasil. A seleção deste tema ganha espaço com o conceito da responsabilidade objetiva prevista na Lei nº 12.846/2013 (Lei Anticorrupção Brasileira) que prevê penalidades às organizações, independentemente de seu dolo ou culpa. A mitigação desse risco pode depender da intervenção em diversos processos organizacionais específicos ao setor de cada organização e ao seu próprio negócio. A alta administração da organização tem que se deparar a cada ciclo anual desse processo de avaliação do risco para a integridade com um conjunto muito grande de fatores de risco a serem trabalhados paralelamente. O que vemos nas organizações, assim como no caso particular estudado, é a necessidade de tomada de decisão por parte da alta administração em um tema que não é de domínio de todos os administradores. E aqui se fortalece a necessidade de disseminação e popularização da utilização de método multicritério de apoio à decisão, seja na disseminação desse conhecimento para profissionais que trabalham com gestão de riscos empresariais e com *compliance* nas organizações, seja pela alta administração, ao fomentar e exigir a aplicação desse tipo de ferramenta.

Palavras-chave: Avaliação de risco para a integridade. Fatores de risco. Fraude e corrupção. Tomada de decisão. Análise multicritério

ABSTRACT: This research focuses on assessing the risk to integrity in order to identify weaknesses in organizations that allow the occurrence of fraud and acts of corruption based on an experience lived by the authors in a company in the Utilities sector listed on the Brazilian stock exchange. The selection of this theme gains space with the concept of objective responsibility foreseen in Law 12.846/2013 (Brazilian Anti-Corruption Act) that foresees penalties to the organizations, regardless of their intent or guilt. The mitigation of this risk may depend on the intervention in several organizational processes specific to the sector of each organization and its own business. The organization's top management has to face each annual cycle of this integrity risk assessment process with a very large set of risk factors to be worked on in parallel. What we see in organizations, as in the particular case studied, is the need for decision making by top management on a topic that is not the domain of all administrators. And here the need to disseminate and popularize the use of a multi-criteria method to support decision making is strengthened, both in the dissemination of this knowledge to professionals who work with business risk management and compliance in organizations, and by the Top Management by encouraging and demanding the application of this sort of tool.

Keywords: Corruption Risk Assessment. Risk Factors. Fraud and Corruption. Decision Making. Multicriteria Analysis.

INTRODUÇÃO

As organizações estão sujeitas a riscos de diversas naturezas, desde questões internas relacionadas a processo de produção e venda até as questões externas relacionadas à demanda, concorrência ou ainda imagem e reputação. Seu desempenho ou sua existência serão sempre ameaçados pela materialização de riscos relevantes ao seu objetivo estratégico. Toda escolha que fazemos nas organizações na busca de objetivos tem seus riscos. Lidar com o risco nessas escolhas faz parte da tomada de decisão.

Uma pesquisa bibliométrica realizada por Peleias, Caetano, Parisi e Pereira (2013) observa a necessidade da gestão eficaz e da realização eficiente das atividades de gestão de riscos como forma de contornar tais ameaças, e ainda aproveitar oportunidades que surjam no seu dia a dia.

O COSO *Enterprise Risk Management – Integrated Framework* (COSO ERM) é um dos *frameworks* de gestão de risco mais utilizados no mundo e teve sua mais recente atualização em 2007 (COMMITTEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS OF THE TREADWAY COMMISSION, 2017) como foco na integração do gerenciamento de risco – relacionando risco com o estabelecimento de estratégias e atividades do dia a dia, ajudando as organizações a utilizar os princípios do Gerenciamento de Riscos Empresarial (do inglês, *Enterprise Risk Management – ERM*) para apoiar a criação, realização e preservação de seu valor.

Como as organizações buscam otimizar uma série de resultados possíveis, suas decisões raramente são binárias, com uma resposta certa e errada. É por isso que o gerenciamento de risco empresarial pode ser chamado tanto de uma arte quanto de uma ciência. E quando o risco é considerado na formulação da estratégia e objetivos de negócios de uma organização, o gerenciamento de risco empresarial ajuda a otimizar os seus resultados (COMMITTEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS OF THE TREADWAY COMMISSION, 2017).

Contextualizando um pouco mais o COSO ERM (2017) na gestão de risco empresarial, estratégia e estabelecimento de objetivos trabalham em conjunto no processo de planejamento estratégico. Daí a alta administração pode, enfim, estabelecer o apetite ao risco desde que alinhado com a estratégia organizacional.

Aqueles riscos que podem impactar o alcance da estratégia e dos objetivos do negócio precisam ser identificados e avaliados, identi-

cando suas causas ou fatores que contribuem para sua materialização e avaliando o impacto ou severidade do risco do ponto de vista financeiro e/ou reputacional. Em seguida, a organização deve priorizar, de acordo com sua severidade no contexto do apetite ao risco previamente definido, as possíveis respostas aos principais fatores de risco, podendo optar por aceitar sua materialização; “terceirizar” aquele risco seja na operação em si, seja na contratação de algum tipo de seguro; tratar cada fator de risco priorizado por meio de controles internos monitorados; ou ainda evitar ao sair daquele tipo de operação.

REFERENCIAL TEÓRICO

A presente pesquisa foca na avaliação do risco para a integridade de forma a identificar fragilidades nas organizações que possibilitem a ocorrência de fraudes e atos de corrupção a partir de uma experiência vivenciada pelos autores em uma empresa do setor de *Utilities* listada em bolsa de valores no Brasil.

Tema que vem alcançando cada vez mais relevância mundialmente ao alcançar a responsabilização de pessoas jurídicas por atos de corrupção desde o embrionário movimento nos Estados Unidos pela Lei FCPA (1977) e com os programas de ética e *compliance* reforçados globalmente com as convenções antissuborno da OCDE (1997) e da ONU (2003), até chegarmos ao caso brasileiro com a promulgação de nossa Lei Anticorrupção, a Lei nº 12.846 (2013).

Conforme Batisti e Kempfer (2016), a lei brasileira tem por escopo combater a corrupção e possibilitar que as empresas possam ser agentes ativos nesta missão. A lei prevê punições a empresas, porém prevê que essa punição pode ser minimizada caso a empresa adote estratégias de prevenção à corrupção por meio de programas de integridade – *compliance*. A efetividade preventiva dessa lei dependerá da adoção de mecanismos de integridade que envolvam aspectos éticos, jurídicos e administrativos, para apontar caminhos objetivos diante do risco de corrupção inerente a qualquer organização.

Há um aspecto mais inovador e controverso da Lei nº 12.846/2013: a responsabilização objetiva das empresas pelas infrações previstas pelo legislador, independente de dolo ou culpa por parte das organizações. Ou seja, uma organização pode ser penalizada além de atos cometidos por ela própria (dolo), bem como por atos cometidos por outras organizações com as quais se relaciona, desde que em atos que a beneficiem indiretamente (culpa).

A lei não aborda a forma como as organizações devem implementar os seus programas de integridade. O Decreto nº 8.420 (2015), que regulamenta a Lei nº 12.846/2013, dispõem em seu Capítulo IV sobre o “Programa de Integridade” e apresenta no Art. 42 os parâmetros que devem ser observados para fins de avaliação de existência e aplicação do referido programa.

Porém, os parâmetros presentes no Decreto nº 8.420/2015 são apenas norteadores, sem que seja determinada a forma de se implementar um programa de integridade. O que faz todo o sentido, uma vez que as organizações variam quanto ao tamanho, estrutura, indústria, mercados de atuação, cultura organizacional etc.

Um dos parâmetros existentes no Decreto nº 8.420/2015 é o que trata da análise periódica de riscos: “V – análise periódica de riscos para realizar adaptações necessárias ao programa de integridade”. Percebe-se a coerência do legislador em demonstrar que a análise de risco que trata de integridade nos termos da Lei nº 12.846/2013 é um fator imprescindível para o dimensionamento das ações de mitigação ao risco e para o constante aprimoramento do programa de integridade, em linha com as disposições legais aqui citadas de outros países ou organizações.

Em dezembro de 2015, a Controladoria-Geral da União (CGU) publicou um conjunto de guias sobre Ética e Integridade, de caráter orientativo, que podem ajudar organizações a construir ou aperfeiçoarem instrumentos destinados à prevenção, detecção e remediação de atos lesivos à Administração Pública e que também apresentam os pilares de um programa de integridade (CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO, 2015).

Segundo esses guias da CGU (2015), a gestão de riscos para a integridade (fraude e corrupção) consiste em ferramenta que permite aos profissionais mapear os processos organizacionais das organizações que integram.

Para a análise de perfil e riscos, a CGU orienta que um Programa de Integridade deve ser desenvolvido, levando-se em consideração o porte e as especificidades da empresa, com base em informações como:

- setores do mercado em que atua no Brasil e no exterior;
- estrutura organizacional (hierarquia interna, processo decisório e as principais competências de conselhos, diretorias, departamentos ou setores);

- quantitativo de funcionários e demais colaboradores;
- nível de interação com a administração pública, considerando-se principalmente a relevância de processos de obtenção de autorizações, licenças e permissões governamentais em suas atividades, o quantitativo e os valores de contratos celebrados com entidades e órgãos públicos, a frequência e a relevância da utilização de terceiros nas interações com o setor público;
- participações societárias que envolvam a pessoa jurídica na condição de controladora, controlada, coligada ou consorciada.

Além da análise do perfil da empresa, a estruturação de Programa de Integridade depende também de uma avaliação de riscos que leve em conta as características dos mercados onde a empresa atua (cultura local, nível de regulação estatal, histórico de corrupção). Essa avaliação deve considerar principalmente a probabilidade de ocorrência de fraudes e corrupção, inclusive ligadas a licitações e contratos, e o impacto desses atos lesivos nas operações da empresa. Com base nos riscos identificados, serão desenvolvidas as regras, políticas e procedimentos para prevenir, detectar e remediar a ocorrência dos atos indesejados.

É importante que o processo de mapeamento de riscos seja periódico a fim de identificar eventuais novos riscos, sejam eles decorrentes de alteração nas leis vigentes ou de edição de novas regulamentações, ou de mudanças internas na própria empresa, como ingresso em novos mercados, áreas de negócios ou abertura de filiais, por exemplo.

GESTÃO DE RISCOS

- 1. Identificação de situações de risco.** Mapear situações ou fatores que possam facilitar, camuflar ou contribuir para prática de atos lesivos contra a administração pública, nacional ou estrangeira.
- 2. Criação de políticas para mitigar os riscos.** Com base nesse levantamento, desenvolver políticas com o objetivo de aumentar o controle sobre as situações de risco e diminuir as chances de ocorrência de atos lesivos.
- 3. Análise periódica de riscos e atualização das políticas.** Mudanças no cenário de risco podem trazer a necessidade de adaptações e, até mesmo, reformulações nas políticas e controles estabelecidos pela empresa.

E ainda aponta para algumas situações de risco, com relação ao disposto na Lei Anticorrupção, conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Situações de risco para a integridade previstas nos Guias de Integridade da Controladoria Geral da União (CGU)

Situações de risco para a integridade

- Participação em licitações
- Obtenção de licenças, autorizações e permissões
- Contato com agente público ao submeter-se a fiscalização
- Contratação de agentes públicos
- Contratação de ex-agentes públicos
- Oferecimento de hospitalidades, brindes e presentes a agentes públicos
- Estabelecimento de metas inatingíveis e outras formas de pressão
- Oferecimento de patrocínios e doações
- Contratação de terceiros
- Fusões, aquisições e reestruturações societárias

Fonte: Tabela construída pelo autor

Em paralelo à publicação dos guias de integridade por parte da CGU, a Organização das Nações Unidas também lança, no final de 2015, a versão em português do seu Guia de Avaliação de Risco de Corrupção (2015), em atendimento às mesmas premissas desse tipo de requerimento legal nos Estados Unidos e países-membros da OCDE aqui citados. Sobre esse guia, destacamos de suas primeiras páginas:

Este documento fornece informação sobre este “como fazer”. Trata-se de um desafio, já que o escopo adequado de uma avaliação de risco muda de empresa para empresa dependendo de vários fatores, como indústria, porte, escopo, alcance geográfico etc. Assim, este documento busca fornecer uma orientação prática, passo a passo, sobre como conduzir uma avaliação de risco de corrupção que não seja prescritiva, mantendo-se a neutralidade com respeito a indústrias e localização geográfica.

[...]

Organizamos também um processo de seis etapas que pode ser seguido para estabelecer uma avaliação de risco: estabelecer o processo, identificar os riscos, classificar os riscos [por exemplo, alto, médio, baixo], identificar controles de mitigação, calcular o risco residual remanescente e desenvolver um plano de ação.

O Guia de Avaliação de Risco de Corrupção da ONU descreve, muito didaticamente, os passos para a realização de pesquisa documental e entrevistas de obtenção da visão geral dos fato-

res de risco para a integridade na organização e as sugestões de pesquisa/autoavaliação *on-line* e sessões de grupo de foco para explorar os fatores de risco de corrupção como forma eficiente e eficaz de coletar visões de vários interessados. Como sugestão inicial, o guia apresenta alguns cenários de risco para a integridade, comuns a diversas organizações, em diversos processos organizacionais, conforme Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Cenários inerentes aos processos organizacionais que potencializam o risco para a integridade previstos no Guia de Avaliação de Risco de Corrupção da ONU

Processos organizacionais comuns	Cenários inerentes aos processos
Aquisição/compra	Subornos e propinas Esquemas de superfaturamento Manipulação de propostas e fixação de preços
Vendas	Uso de agentes Presentes e entretenimentos extravagantes
Importação e exportação de produtos	Pagamentos de liberação alfandegária e transporte de produtos
Interação com o governo	Fazer negócios com um cliente estatal e um parceiro estatal Lidar com funcionários da alfândega Obter permissões, vistos e licenças
Apoio político	Contribuição “voluntária” para um partido político quando uma permissão for dada ou um projeto de construção for concedido
Protocolos de segurança	Serviços particulares de proteção a seus executivos e funcionários em resposta a riscos de segurança encontrados nesses países
Programas sociais	Funcionários de governo pressionam empresas/contratados para ajudar nos projetos de infraestrutura local ou programas sociais, que são diretamente afiliados de certos políticos, partidos políticos ou seus interesses
Patrocínio e contribuições beneficentes	Patrocínio de eventos, conferências e contribuições beneficentes também oferecem risco de suborno de financiamento

Fonte: Tabela construída pelo autor

Uma empresa do setor de *Utilities* no Brasil listada em bolsa de valores no país, realizou, em 2018, sua avaliação do risco para a integridade (fraude e corrupção) e percebeu que alguns cenários poderiam se materializar hipoteticamente, caso a empresa não dispusesse de mecanismos de controles internos para mitigação do risco, em diversos de seus processos organizacionais, conforme Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Cenários inerentes aos processos organizacionais, que potencializam o risco para a integridade, encontrados na avaliação do risco para a integridade realizada pela empresa estudada em 2018

Processos organizacionais comuns	Cenários hipotéticos inerentes aos processos
(1) Aquisição/compra	<p>Dissimular a necessidade e/ou as condições para uma aquisição</p> <p>Orçar valores para aquisições de bens e serviços acima do necessário, possibilitando a prática de sobrepreço nos contratos</p> <p>Fracionar compras (pequeno vulto) em compras diretas, com o propósito de burlar a obrigatoriedade em sua política de compras de realizar cotações com vários fornecedores</p> <p>Contratar empresas que não apresentem os atestados técnicos e demais exigências previstas no processo de compras ou desclassificar candidatos por motivos escusos</p> <p>Fraudar/forjar atestado técnico de modo a dissimular, mediante ajuste, as especificações técnicas exigidas para a execução do contrato</p> <p>Inserir informações incorretas intencionalmente ou alterar dados cadastrais dos fornecedores (conta bancária, endereço etc.) sem que haja embasamento ou documentação suporte</p> <p>Exigir que a empresa prestadora de serviços contrate determinados fornecedores/profissionais que se façam necessários para honrar com o contrato</p> <p>Negligenciar propositalmente a fiscalização do cumprimento das exigências contratuais em troca de benefícios e/ou vantagens ilícitas</p> <p>Manipular ou fraudar o equilíbrio econômico-financeiro de contratos</p> <p>Forjar a necessidade de realizar aditamentos contratuais</p>
(2) Interação com o governo	<p>Prometer, oferecer ou conceder, direta ou indiretamente, vantagens indevidas e/ou pagamentos facilitadores a agentes públicos, ou a terceira pessoa a ele relacionada</p> <p>Prometer, oferecer ou dar, direta ou indiretamente, vantagem indevida a agente público ou a terceira pessoa a ele relacionada em troca da obtenção de permissões, autorizações, aceite de condicionantes e/ou maior celeridade no processo de licenciamentos</p> <p>Conceder ou receber brindes, presentes, entretenimento e benefícios de hospitalidade, inclusive, com recorrência e/ou exclusividade de determinados terceiros, com valores expressivos em desobediência a seus normativos internos</p>
(3) Apoio político	<p>Realizar pagamentos a fornecedores, com o propósito de utilizar interposta pessoa jurídica para realizar repasses financeiros a políticos, partidos, agentes públicos e/ou pessoas relacionadas ao beneficiário</p> <p>Promover patrocínios ou eventos com o intuito de desviar recursos e/ou ocultar a identidade dos beneficiários, visando atender aos interesses pessoais, de terceiros, políticos e/ou agentes públicos</p> <p>Selecionar parceiros e projetos de inovação com o intuito de desviar recursos e/ou ocultar a identidade dos beneficiários, visando atender aos interesses pessoais, de terceiros, políticos e/ou agentes públicos</p>
(4) Patrocínio e contribuições beneficentes	<p>Realizar doações de bens patrimoniais com o propósito de favorecer terceiros, em desacordo com as políticas da empresa</p>
(5) Ambientes de TI	<p>Criar/modificar ambientes de TI e trilhas de auditoria, de forma a favorecer ou dificultar o acesso a informações sensíveis, bem como a identificação da ocorrência de transações fraudulentas</p>
(6) Quadro de pessoal	<p>Simular a existência de colaboradores na folha ou alterar indevidamente informações sensíveis do cadastro de pessoal (ex.: dados bancários, cargo, benefícios, nº de dependentes) com o objetivo de obter vantagem financeira indevida para si ou outrem</p> <p>Fraudar comprovante de despesas (ex.: viagens, benefícios, despesas médicas) com o objetivo de prestar contas de adiantamentos obtidos ou reembolsos realizados</p> <p>Simular a necessidade de realizar visitas/expedientes em áreas de risco e/ou realizar horas extras, com o objetivo de obter adicional de periculosidade e/ou acréscimo salarial</p> <p>Realizar alteração de salários, gratificações, alíquotas e encargos sobre a folha, entre outras informações sensíveis, com intenção de beneficiar a si ou outrem</p>
(7) Ativos da empresa	<p>Apropriação e/ou utilização indébita de ativos (veículos, equipamentos, imóveis etc.) da empresa</p> <p>Alterar vida útil de ativos sem fundamento ou base legal, de modo a impactar a base de cálculo da depreciação e, conseqüentemente, o valor de ativos e o resultado da empresa</p> <p>Fraudar/forjar ordens de transferência, desativação ou alienação de bens móveis, com o propósito de apropriar-se ou de desviar bens patrimoniais</p> <p>Realizar lançamento de impairment a menor, seja por conta de premissas otimistas e irrealis, seja pela definição de taxa de desconto a menor, bem como não realizá-lo quando se fizer necessário, com intenção de supervalorizar um ativo/unidade geradora de caixa</p> <p>Manipular/adulterar informações relacionadas ao inventário de equipamentos gerais, com o propósito de apropriar-se de ativos da empresa</p> <p>Fraudar processo de desinvestimento por meio da participação de empresas que possuam conflitos de interesses ou do recebimento de recursos de origem ilícita</p>

(8) Econômico	Determinar, intencionalmente, parâmetros e premissas do planejamento orçamentário não factíveis com a realidade da empresa, tendo em vista a apresentação de projeções de resultados fictícios Captar recursos ou emitir títulos a fim de manipular os indicadores de disponibilidade ou favorecer instituição credora Manipular indicadores financeiros e/ou resultados, com intuito de atender a objetivos particulares e/ou metas de desempenho dos integrantes da alta administração (Conselho de Administração ou Diretoria Executiva) e dos demais níveis da organização Omitir e/ou divulgar informações relevantes ao mercado, com o propósito de reportar cenário/contexto corporativo fictício
(9) Financeiro, tributário e contábil	Realizar aplicações financeiras sem o devido registro e/ou consentimento do responsável pela aprovação, com intenção de auferir resultados que não tramitem pela empresa Fraudar, alterar e/ou omitir nota fiscal, fatura, duplicata, nota de venda, ou qualquer outro documento relativo à operação tributável Manipular ou adulterar documentos ou livros exigidos pelas leis fiscais, incorrendo em obrigações acessórias incorretas Manipular, alterar ou omitir registros contábeis ou documentação suporte com o propósito de modificar a natureza/classificação de lançamentos e/ou saldos de contas, de modo a impactar nas demonstrações financeiras a serem divulgadas em determinado período
(10) Processos judiciais	Realizar/alterar cadastro de processos judiciais sem embasamento, alçada e/ou documentação suporte, com o propósito de fraudar valor, prognóstico de perda, status ou qualquer outra informação sobre o andamento dos processos judiciais Fraudar/forjar e/ou criar obrigações/comprovantes fictícios de despesas judiciais, com o propósito de desviar numerários da empresa Fraudar depósito judicial com objetivo de manipular o resultado da empresa, forjar depósitos em contas bancárias vinculadas a processos judiciais ou se apropriar de recursos financeiros
(11) Informações sigilosas	Negociar, divulgar e/ou utilizar-se de informações comerciais e estratégicas sigilosas com o propósito de beneficiar a si próprio ou terceiros, em troca de benefícios e/ou vantagens indevidas
(12) Tomada de decisão da alta administração	Emitir pareceres jurídicos ou financeiros tendenciosos, de modo a influenciar na tomada de decisão, em prol de interesses pessoais ou de terceiros Manipular os planos de negócio que embasam a viabilidade e rentabilidade dos empreendimentos de modo que aparentem oportunidades de negócio rentáveis Tomar decisões em desacordo com os objetivos estratégicos da empresa ou em condições não vantajosas, com o objetivo de obter vantagens/benefícios para si ou outrem

Fonte: Tabela construída pelo autor

Observa-se, até aqui, a lógica da construção da avaliação do risco para a integridade (fraude e corrupção), por parte de especialistas nessa área, mas percebemos claramente o impressionante desdobramento em processos comuns a diversas organizações, sem falar daqueles específicos ao setor de cada organização e ao seu próprio negócio.

Cada um desses fatores de risco expostos pela correlação entre processos organizacionais e cenários inerentes aos respectivos processos são, em seguida, classificados quanto ao seu impacto (financeiro e/ou reputacional) e vulnerabilidade (de acordo com a exposição da organização a esse fator de risco) para que seja percebido o risco residual efetivo a ser respondido pela organização por meio de planos de ação concebidos e implementados para cada um dos cenários identificados que ainda apontem vulnerabilidade para materialização do risco para a integridade (fraude e corrupção).

Porém, como vimos até agora, a alta administração da organização se depara a cada ciclo anual desse processo de avaliação do risco para a integridade com um conjunto muito

grande de fatores de risco a serem trabalhados paralelamente. O que vemos nas organizações, assim como no caso particular estudado, é a necessidade de tomada de decisão por parte da alta administração diante de um conjunto tão grande de informações, como se tais conselheiros de administração e diretores executivos fossem todos especialistas nesse tema.

E aqui se fortalece a necessidade de disseminação e popularização da utilização de método multicritério de apoio à decisão, seja na disseminação desse conhecimento para profissionais que trabalham com gestão de riscos empresariais e com *compliance* nas organizações, seja pela alta administração ao fomentar e exigir a aplicação desse tipo de ferramenta.

Um estudo utilizando a ferramenta SuperDecisions®, realizado por Rivza *et al.* (2013) sobre “O uso do Processo de Análise em Rede (ANP, em inglês) para avaliação de risco na produção de energia renovável a partir da biomassa agrícola na Letônia” foi o motivador para a possibilidade de utilização do Processo de Análise Hierárquica (AHP, em inglês), que se trata de um caso especial do método ANP, com

suas suposições de dependência de *clusters* e elementos (SAATY, 1999), na avaliação do risco para a integridade (fraude e corrupção) em empresas. O método ANP é uma teoria geral de medida relativa utilizada para derivar escalas de prioridade composta a partir de escalas de razão individuais que representam medidas relativas da influência de elementos que interagem com respeito a critérios de controle.

O ANP propõe a construção de um modelo qualitativo descrevendo a influência de fatores externos sobre o sistema em estudo, bem como a interdependência dos elementos desse sistema. Tal modelo pode ser construído com o uso do conhecimento de especialistas com bastante experiência nos elementos do sistema e representa a descrição linguística de componentes básicos, elementos e fatores, bem como a descrição de um significado e direções dos fluxos de influência no sistema pesquisado. A influência de diferentes fatores sobre os elementos do sistema (ou uma influência mútua de elementos internos) pode ser de semântica ambígua, portanto, no estágio inicial da pesquisa, deve-se formular precisamente um objetivo principal, em termos do qual serão determinadas as categorias básicas da tarefa: critérios, agrupamentos ou *clusters*, elementos, alternativas (ANDREI-CHICOVA; RADYSHEVSKAYA, 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma similar ao que foi investigado por Rivza *et al.* (2013), foi realizada, nesta pesquisa, a avaliação do risco para a integridade com base nos fatores de risco encontrados em uma empresa do setor de *Utilities* no Brasil lista da em bolsa de valores no país. Nesta pesquisa, os fatores de risco foram divididos em 12 agrupamentos ou *clusters*: (1) Aquisição/compra, (2) Interação com o governo, (3) Apoio político, (4) Patrocínio/contribuições beneficentes, (5) Ambientes de TI, (6) Quadro de pessoal, (7) Ativos da empresa, (8) Econômico, (9) Financeiro/Tributário/Contábil, (10) Processos judiciais, (11) Informações sigilosas, (12) Tomada de decisão da alta administração. Eles deverão ser avaliados pela capacidade de usar três (das quatro existentes) estratégias de resposta a riscos – redução ou mitigação por meio do tratamento dos fatores de risco, transferência ou terceirização dos fatores de risco ou a mera aceitação da materialização de um fator do risco sem comprometer os impactos financeiros e/ou reputacionais da organização. O SuperDecisions® permite detectar qual é a estratégia dominante em toda

a avaliação do risco e qual estratégia é melhor para *clusters* ou grupos de risco separados.

Para suportar uma avaliação desse tipo, uma aplicação futura deverá prever a distribuição de um questionário para os especialistas em cada um dos processos organizacionais com as perguntas que constam na Tabela 4. A avaliação de risco será feita a partir das respostas de séries de perguntas sobre os fatores de risco para a integridade (fraude e corrupção). Existem 12 grupos de fatores de risco, os mesmos usados já apresentados na Tabela 3 e na descrição dos *clusters* acima.

Tabela 4 – Perguntas sobre o impacto e a vulnerabilidade dos fatores de risco para a integridade (fraude e corrupção)
RELAÇÃO DAS PERGUNTAS

	COEFICIENTE
Impacto (financeiro e/ou reputacional)	
1. Há possibilidade de envolvimento de terceiros em caso de materialização do fator de risco?	1
2. Há possibilidade de envolvimento direto de membros da alta administração em caso de materialização do fator de risco?	1
3. O fator de risco identificado está associado a alguma “fraqueza material” ou “deficiência significativa” do ambiente de controles internos da empresa reportada no Formulário de Referência para os investidores conforme exigência da CVM?	3
4. O saldo da(s) conta(s) contábil(eis) associada(s) ao fator de risco possui(em) materialidade?	3
5. O fator de risco identificado é passível de enquadramento na Lei nº 12.846/2013 (Lei Anticorrupção Brasileira)?	1
Vulnerabilidade (de acordo com a exposição da organização a esse fator de risco)	
6. Trata-se de um fator de risco com ocorrência superior a 250 vezes ao ano? (marco na definição de amostra para testes de auditoria)	1
7. O fator de risco identificado está associado a alguma não conformidade apontada em relatórios de auditoria do ano anterior?	1
8. O fator de risco identificado está associado a alguma “fraqueza material” ou “deficiência significativa” do ambiente de controles internos da empresa apontado no parecer dos auditores independentes?	1
9. É percepção da área de compliance que o evento de risco é relacionado a um tema crítico?	3
10. Foram encaminhadas, para investigação, denúncias relacionadas ao fator de risco?	1
11. O fator de risco foi citado em mais de 10% das entrevistas realizadas na empresa?	2

Fonte: Tabela construída pelo autor

Os respondentes poderão assinalar três opções possíveis entre “Sim”; “Não”; “Em parte”, e uma possibilidade de indicar que o respondente não tem domínio desse ponto questionado. Cada uma das perguntas tem um coeficiente determinado pelos profissionais que conduzirão esta avaliação, que é considerado ao somar os resultados. Os resultados da avaliação dos fatores de risco mostram os níveis médios de risco em cada *cluster*, os riscos baixos, médios e altos e o nível de risco total de todas as *clusters*,

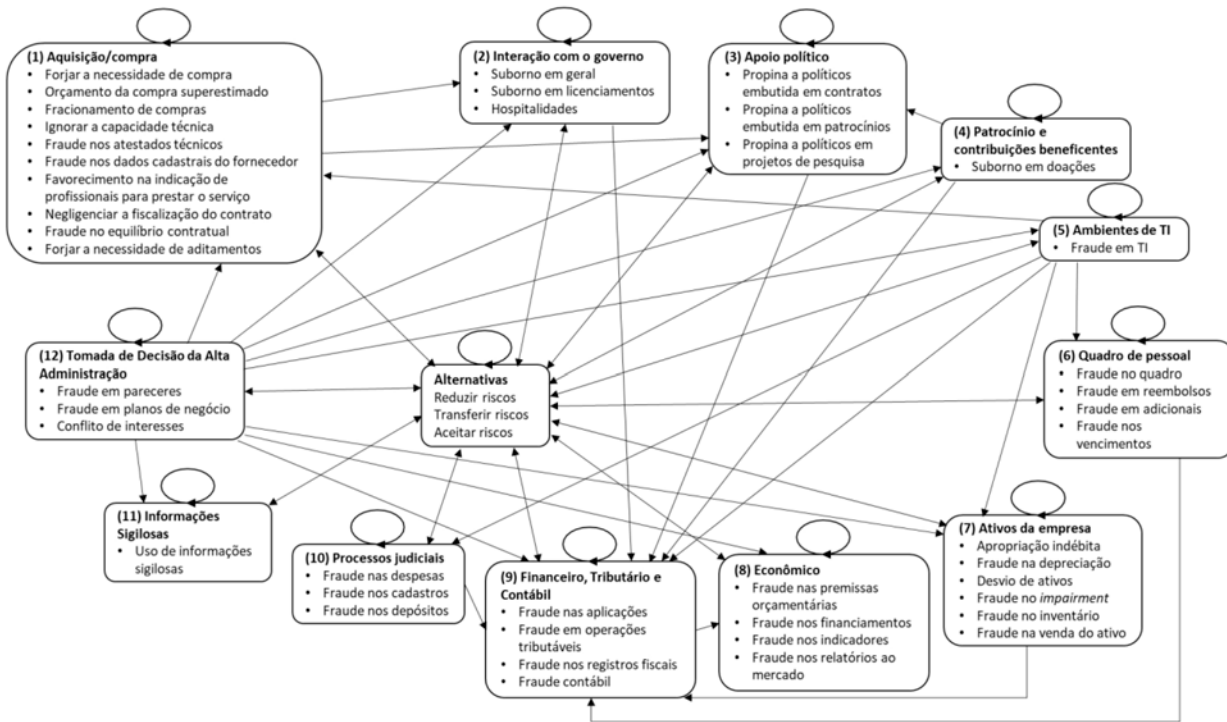
indicando adicionalmente a percepção de risco para a integridade na empresa.

Além de 12 grupos ou *clusters* de fatores de risco, a presente avaliação do risco para a integridade prevê três alternativas de resposta aos fatores de risco para cada *cluster*: (a) reduzir, (b) transferir e (c) aceitar riscos. Essas alternativas ilustram as escolhas possíveis na gestão de riscos. A análise posterior com o método ANP no *software* SuperDecisions® pode ser feita para detectar qual alternativa seria a melhor escolha

para cada um dos riscos e grupos de risco (como um valor médio de todos os riscos do grupo).

A Figura 1 a seguir mostra as conexões (influências) entre os *clusters* ou grupos de fatores de risco e as alternativas de resposta aos fatores de risco. A seta de um *cluster* para outro mostra que todos ou alguns elementos do primeiro *cluster* influenciam todos ou alguns elementos do segundo *cluster*, mas os *loops* reflexivos (ciclos internos) correspondem à influência mútua entre os elementos de um *cluster*.

Figura 1 – Gráfico de influência descrevendo as relações entre *clusters* ou grupos de fatores de risco



Fonte: Figura construída pelo autor

Como se pode observar na Figura 1, os fatores de risco de “Tomada de decisão da alta administração” são os que mais influenciam a maior parte dos outros *clusters* (9 dos 11 remanescentes), enquanto os fatores de risco “Financeiro, tributário e contábil” são aqueles mais influenciados pela maior parte dos outros *clusters* (8 dos 11 remanescentes). Os fatores de risco relacionados aos “Ambientes de TI” também exercem relativa influência para os esquemas de fraude em 5 *clusters*. E, por fim, percebe-se que os fatores de risco sobre “Apoio político” são influenciados por 3 *clusters* diferentes e são importantes quanto aos aspectos penais já mencionados da Lei Anticorrupção Brasileira.

Após a determinação dos *clusters* de influência e a avaliação dos nós de fatores de risco relacionados, a avaliação deve prosseguir para a obtenção da intensidade de influência

com o uso do procedimento de comparação de pares e da escala de razão fundamental. A técnica de comparação de pares (com representação de números ímpares de 1 a 9 e com os valores intermediários pares de 2 a 8) é o método de medidas mais universal, pois pode ser aplicado na ausência de escalas e padrões, em particular na medição de atributos intangíveis. Comparando dois objetos em relação a um atributo comum (critério, propriedade) os especialistas estimam uma preferência relativa de um objeto em relação a outro, escolhendo uma estimativa adequada a partir da escala fundamental. As comparações de objetos homogêneos do perito com relação a cada critério são colocadas em matriz recíproca de comparações em pares (ANDREI-CHICOVA; RADYSHEVSKAYA, 2007).

Nas etapas finais, o SuperDecisions® pode gerar os resultados da avaliação apresen-

tando a melhor alternativa classificada para o gerenciamento dos fatores de riscos, no gráfico gerado de “Escolha de alternativas dentro dos grupos de fatores de risco”.

O uso do ANP no gerenciamento de riscos dá uma oportunidade de realizar a avaliação de riscos, incluindo fatores tangíveis e intangíveis, e avaliar várias dependências entre riscos e alternativas, tornando-a uma ferramenta valiosa para a avaliação de riscos.

Esse tipo de análise de decisão é capaz de municiar o tomador de decisão, geralmente distante do conhecimento técnico de gestão de riscos empresariais a focar os recursos existentes e sempre escassos da organização para os seus fatores de risco mais relevantes, evitando os impactos financeiros e/ou reputacionais derivados caso o risco para a integridade (fraude e corrupção) venha a se materializar.

REFERÊNCIAS

- ANDREICHICOVA, O. N.; RADYSHEVSKAYA, T. N. Application of the Analytic Network Process to a forecasting of oral health. *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 11., aug. 2007.
- BATISTI, B. M.; KEMPFER, M. Parâmetros de *compliance* por meio da metodologia de análise de risco para a mitigação da responsabilidade objetiva diante da Lei Anticorrupção (12.846/2013) em face de negócios públicos. *Revista brasileira de Direito Empresarial*, p. 184-200, 2016.
- BRASIL. Lei nº 12.846/2013. Dispõe sobre a responsabilização administrativa e civil de pessoas jurídicas pela prática de atos contra a administração pública, nacional ou estrangeira, e dá outras providências. 1 ago. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12846.htm. Acesso em: 7 dez. 2020.
- BRASIL. Decreto nº 8.420. Regulamenta a Lei nº 12.846, de 1º de agosto de 2013, que dispõe sobre a responsabilização administrativa de pessoas jurídicas pela prática de atos contra a administração pública, nacional ou estrangeira e dá outras providências. 18 mar. 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8420.htm. Acesso em: 7 dez. 2020.
- COMMITTEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS OF THE TREADWAY COMMISSION. *COSO Enterprise Risk Management: Integrating with Strategy and Performance*. [S.l.]: AICPA, 2017.
- CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO. Coleção Programa de Integridade. *Controladoria-Geral da União*, dez. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/cgu/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/etica-e-integridade/colecao-programa-de-integridade>. Acesso em: 7 dez. 2020.
- OECD. OECD Convention on Combating Bribery of Foreign Public Officials in International Business Transactions. *OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development*, 17 dec. 1997. Disponível em: <http://www.oecd.org/corruption/oecdantibriberyconvention.htm>. Acesso em: 7 dez. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Rede Brasileira do Pacto Global lança guia em português para empresas avaliarem risco de corrupção. *Nações Unidas Brasil*, 30 nov. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/rede-brasileira-do-pacto-global-lanca-guia-em-portugues-para-empresas-avaliarem-risco-de-corrupcao/>. Acesso em: 7 dez. 2020.
- PELEIAS, I. R. *et al.* Produção científica sobre controle interno e gestão de riscos no EnANPAD e Congresso USP: análise bibliométrica no período 2001-2011. *Revista Universo Contábil*, p. 29-49, 2013.
- RIVZA, S. *et al.* The Use of Analytic Network Process for Risk Assessment in Production of Renewable Energy from Agriculture Biomass in Latvia. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, p. 66-71, 2013.
- SAATY, T. L. Fundamentals of the analytic network process. *Proceedings of the 5th international symposium on the analytic hierarchy process*, p. 12-14, aug. 1999.
- UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME. United Nations Convention against Corruption (UNCAC). *United Nations Office on Drugs and Crime*, 31 oct. 2003. Disponível em: https://www.unodc.org/unodc/corruption/tools_and_publications/UN-convention-against-corruption.html. Acesso em: 7 dez. 2020.
- UNITED STATES HOUSE OF REPRESENTATIVES. Foreign Corrupt Practices Act (FCPA). *The United States Department of Justice*, 19 dec. 1977. Disponível em: <https://www.justice.gov/criminal-fraud/foreign-corrupt-practices-act>. Acesso em: 7 dez. 2020.

Dados dos autores

Fernando Augusto Macedo de Melo (fernando.macedo@gmail.com). Bacharel em Informática pela Universidade de Fortaleza, Especialização em Economia e Gestão em Energia pela COPPEAD e mestrando em Administração pelo IBMEC/RJ.

PRÁTICAS DE TELECOMUNICAÇÕES COM BASE EM INSTRUMENTOS DE BANCADA

Bryan S. Duarte

Gilson A. Alencar

RESUMO: Tendo em vista as inúmeras tecnologias envolvidas, a Engenharia de Telecomunicações requer, na sua formação, atividades práticas para fixação e consolidação dos conhecimentos. Essas atividades também são essenciais à percepção da aplicabilidade dos conteúdos teóricos ministrados em sala de aula. Além dessa questão, credita-se às atividades práticas, o fator motivacional, que se constitui em um importante instrumento para incentivar a continuidade dos discentes e reduzir a evasão no curso. Diante desse cenário, o desenvolvimento constante dessas atividades se constitui em um grande desafio, quando se considera a rápida evolução tecnológica experimentada na atualidade. O uso de instrumentos de bancada na elaboração e análise de experimentos em laboratório tem sido um recurso adotado desde as primeiras gerações desses equipamentos. Este trabalho discute as novas possibilidades em relação ao emprego dos instrumentos de tecnologia mais recente na criação de práticas laboratoriais. É apresentado um exemplo prático, no qual recursos avançados de instrumentos como osciloscópio digital e gerador de funções foram utilizados no desenvolvimento de experimentos relacionados ao ensino de técnicas de modulação analógica e digital no curso de Engenharia de Telecomunicações do Cefet/RJ. Os resultados se mostraram bastante satisfatórios no que tange à elaboração e implementação das práticas. Os recursos tecnológicos disponíveis nos instrumentos atuais são um grande atrativo e nos remetem ao uso da criatividade para formular atividades cada vez mais envolventes.

Palavras-chave: Telecomunicações. Práticas de laboratório. Instrumentos de bancada. Ensino de Engenharia.

ABSTRACT: Considering all technology involved, Telecommunications Engineering Courses require a great number of practical activities for a better knowledge consolidation. The development of laboratory experiments is essential to understanding the real application of theoretical concepts. Adding to this question, practical activities are also important to minimize the drop-out problem and keep the engineering students motivated. The uses of bench instruments as resource to carry out laboratory experiments have been adopted for a long time in the engineering courses. The new generation of bench instruments has provided new possibilities with respect to the development of laboratory practices. In this work, the advanced resources of these instruments were used to perform more attractive and interactive practices. The experiments discussed in this work were accomplished in order to approach the concepts of analog and digital modulation techniques in the Telecommunications Engineering Course of Cefet/RJ. To perform these experiments were used advanced resources of instruments as a digital oscilloscope and a function generator. The results of the practical procedures showed to be very appropriated to the learning process as well, highly flexible in the experiments development. The tools offered by the new bench instruments are very attractive and encourage us to create much more engaging experiments.

Keywords: Telecommunications, Laboratory practices, Bench instruments, Engineering teaching.

INTRODUÇÃO

O mercado de trabalho exige dos profissionais uma série de conhecimentos para a realização com eficiência de tarefas diárias. Para Koehler *et al.* (2012), a qualificação profissional é uma necessidade constante aliada ao aprimoramento de habilidades práticas. Nesse contexto, a universidade tem um papel importante no desenvolvimento das habilidades essenciais ao exercício profissional. A relação entre aulas práticas e o mercado de trabalho já foi ressaltada por Hillborn (1990), ao salientar que tal aprendizado prepara os alunos para a realização de atividades em equipe. Nesse caso, o uso de atividades práticas como suporte ao trabalho em equipe depende dos recursos disponíveis e o rendimento dos alunos está intimamente ligado ao planejamento e à motivação dessas atividades.

A área de telecomunicações, assim como outras, requer uma elevada carga de conhecimentos técnicos e científicos. O uso de equipamentos como osciloscópios, analisadores de espectro e geradores de funções em atividades laboratoriais contribui significativamente para a fixação e consolidação desses conhecimentos. Por isso, é pertinente que os alunos tenham contato constante com esses equipamentos no meio acadêmico, com o objetivo de melhor prepará-los aos desafios técnicos inerentes à vida profissional. É preciso enfatizar que as tecnologias presentes nos instrumentos de bancada de última geração permitem um elevado grau de interatividade com os experimentos. Essa interatividade possibilita, por exemplo, através de *software*, fazer combinações com os sinais e modificar suas características, gerando resultados de acordo com os objetivos dos experimentos.

Com base nesse contexto, o trabalho em questão discute o desenvolvimento de práticas laboratoriais no curso de Engenharia de Telecomunicações do Cefet/RJ, usando instrumentos de bancada mais atuais. Por meio de equipamentos como o osciloscópio DPO7254 (Tektronix – *Digital Phosphor Oscilloscope*) e os geradores de funções AFG3252 (Tektronix – *Dual Channel Arbitrary/Function Generator*) e TGA1241 (40MHz *Arbitrary Waveform Generator – Thurlby Thandar Instruments – TTI*) foram elaborados experimentos com o propósito de abordar e fixar alguns conceitos de modulação analógica e digital. As técnicas de modulação são aplicadas em inúmeros sistemas de telecomunicações e seu entendimento representa uma etapa importante no processo de formação profissional. Os diversos recursos disponíveis nos instrumentos de bancada permitiram a obtenção de gráficos

de alta qualidade, que demonstraram, de forma satisfatória, como as técnicas de modulação em amplitude (AM), em frequência (FM) e digital (PSK) operam na prática. Os resultados obtidos reforçam a importância e o potencial dos instrumentos de última geração no desenvolvimento de práticas de laboratório para o curso de Engenharia de Telecomunicações do Cefet/RJ.

PRÁTICAS DE TELECOMUNICAÇÕES COM INSTRUMENTOS DE BANCADA

A área de telecomunicações passa por constantes evoluções, o que impõe grandes desafios às atividades de ensino e de formação profissional. As mudanças tecnológicas e o desenvolvimento de novas técnicas e processos ocorrem de forma exponencial e exigem um acompanhamento permanente das metodologias adotadas no ensino das disciplinas específicas do curso. Para isso, é necessário um esforço incessante da equipe de docentes na revisão e reformulação das práticas de ensino. Recentemente, em abril de 2019, foram instituídas as novas Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia (CNE, 2019). Essas novas diretrizes estabelecem mudanças importantes nos cursos de graduação em engenharia e se baseiam fortemente em competências. O documento surgiu como resultado dos anseios e necessidades da indústria nacional e do setor produtivo, preocupados em introduzir mudanças na formação dos engenheiros no Brasil, de modo a contemplar a inovação, o aprendizado permanente e o desenvolvimento de habilidades práticas.

A inovação é a palavra-chave quando se discute a sobrevivência da indústria brasileira no cenário global. A competitividade da indústria hoje está intimamente ligada à sua capacidade de inovar e de ofertar novos produtos. A inovação, por sua vez, está associada à capacidade de transformar o conhecimento científico e tecnológico em produtos funcionais e cada vez melhores para atender às necessidades do mundo atual. No entanto, a capacidade de inovação requer um sistema educacional eficiente, desde a formação básica até o ensino superior. Este é o principal gargalo no Brasil para o desenvolvimento econômico e industrial. O país convive com uma educação básica bastante deficiente, o que impacta diretamente no ensino superior e compromete a formação profissional.

Atento a essas questões e às novas diretrizes na formação profissional, este trabalho apresenta o potencial dos instrumentos mais atuais na

criação de atividades práticas. Os experimentos propostos foram elaborados com o objetivo de incrementar as práticas de laboratório e aperfeiçoar o processo ensino-aprendizagem do curso de Engenharia de Telecomunicações do Cefet/RJ. Da geração analógica à geração digital, os instrumentos de bancada estiveram sempre presentes nas atividades de laboratório dos cursos de engenharia da área de elétrica. Nas últimas duas décadas, novos modelos têm surgido com recursos avançados, que proporcionam inúmeras possibilidades de aplicações nos cursos de engenharia. O uso de *kits* educacionais também tem se mostrado uma alternativa ao desenvolvimento de práticas em laboratório. No entanto, como experimentamos uma evolução exponencial, o risco de se tornarem obsoletos em um curto período é permanente. Ademais, os fabricantes desses *kits*, preocupados em priorizar os novos produtos, costumam encerrar a produção de uma linha de equipamentos já comercializados, extinguindo o seu suporte muito rapidamente. Já os fabricantes de equipamentos de bancada oferecem um suporte de mais longo prazo e até atualizações periódicas do produto. Algumas vertentes, como as apresentadas por Quintino *et al.* (2016) e Paines (2014), sugerem o desenvolvimento de *kits* customizados no próprio curso para estimular a prática e a criação de soluções direcionadas a interesses mais específicos.

Os equipamentos disponíveis atualmente dispõem de recursos tecnológicos que permitem uma interação maior com os experimentos. Muitos desses equipamentos são computadores completos, operam com um sistema operacional e possuem pacotes de *software* embarcados. Esses pacotes adicionam novas funcionalidades e ampliam consideravelmente as possibilidades, no que tange ao que pode ser realizado. Apesar dos elevados custos associados, o uso desses equipamentos é vantajoso, considerando que podem ser utilizados por muito mais tempo e os fabricantes disponibilizam atualizações dos pacotes de *software*. Também cabe destacar que a manutenção desses equipamentos pode ser realizada no próprio laboratório por técnicos especializados. No caso do Laboratório de Transmissão Digital e Comunicações Eletrônicas do curso de Engenharia de Telecomunicações do Cefet/RJ, embora não seja uma prática comum, os próprios docentes, com experiência nessa atividade, fazem a manutenção dos instrumentos. Outro aspecto importante está relacionado à flexibilidade no desenvolvimento de novos experimentos. Os instrumentos de bancada de tecnologia mais recente, em virtude dos recursos disponíveis, possibilitam a criação dos experimentos de acordo com o interesse de

cada disciplina do curso. Desse modo, a qualquer momento, os experimentos podem ser reconfigurados para atenderem a novos objetivos. Já os *kits* educacionais são limitados às práticas previstas pelo fabricante.

Neste trabalho, foram empregados três instrumentos de bancada, que contemplam as características elencadas até aqui. Esses equipamentos correspondem ao osciloscópio digital DPO7254 e aos geradores de funções AFG3252 e TGA1241. A série de osciloscópios digitais com tela de fósforo (*Digital Phosphor Oscilloscope*) DPO7000 se caracteriza pelo desempenho na análise e aquisição de sinais, contando com uma elevada taxa de amostragem em todos os canais de entrada. Essa característica introduz melhorias em termos de resolução e capacidade para detecção de detalhes, tais como transientes ou imperfeições na forma de onda. O osciloscópio digital DPO7254 possui sistema operacional Windows XP com tela *touch screen* de 12,1", funções de FFT (*Fast Fourier Transform*) e filtragem de sinais. Esse último recurso é viabilizado através de filtros digitais implementáveis por *software* no próprio osciloscópio. O modelo em questão possui 4 canais de entrada, podendo alcançar taxas de amostragem de até 40 GS/s, quando apenas um canal está em operação (TEKTRONIX, 2010).

O gerador de funções AFG3252 faz parte de uma série de equipamentos muito utilizados na indústria, por conta de sua versatilidade e operação intuitiva. É capaz de gerar formas de onda de diferentes tipos, inclusive sinais arbitrários. Dentre os recursos oferecidos, destaca-se a possibilidade de gerar uma grande variedade de portadoras nas modulações AM, PM e FM. Também disponibiliza sinais modulantes com frequência de até 50KHz (TEKTRONIX, 2012). O gerador TGA1241 opera na faixa de 0,1 a 40MHz e dispõe de recursos para geração arbitrária de formas de onda e sinais modulados em AM.

TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

De acordo com Nunes (2009), a modulação é o processo de combinação entre um sinal de banda base $m(t)$, chamado de sinal modulante, com uma portadora de frequência f_c , de forma a produzir um sinal de saída $s(t)$, que possui sua banda deslocada para a frequência central f_c . O objetivo dessa técnica é possibilitar a transmissão mais eficiente pelo canal de comunicações. Segundo Lathi (2012), a modulação pode ser utilizada para aproveitar melhor o canal,

deslocando os sinais que devem ser transmitidos, de modo a ocuparem regiões diferentes do espectro sem superposição.

Modulação analógica

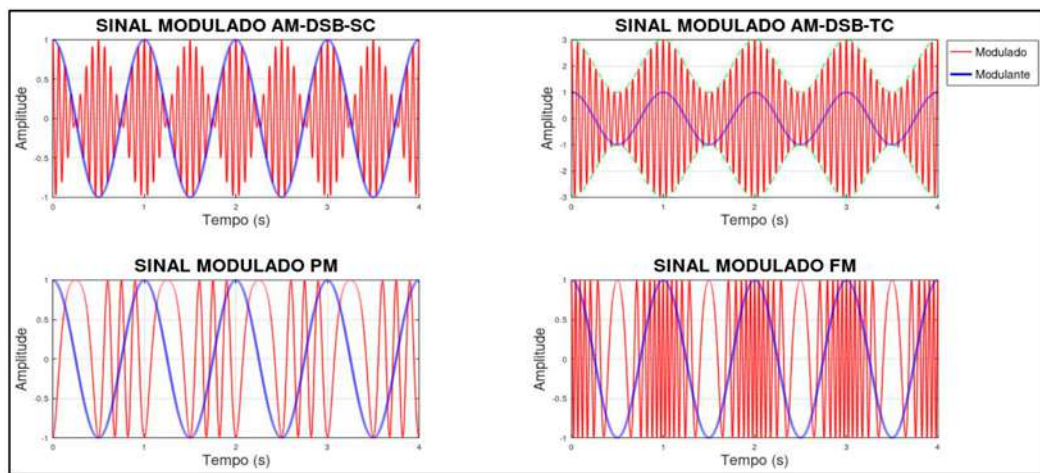
As técnicas de modulação analógica foram empregadas nos primeiros sistemas de comunicação, podendo ser divididas em três grupos: Modulação em Amplitude (AM – *Amplitude Modulation*), Modulação em Fase (PM – *Phase Modulation*) e Modulação em Frequência (FM – *Frequency Modulation*) (NUNES, 2009). Cada uma dessas modalidades modifica um dos três parâmetros da portadora: amplitude, fase ou frequência.

Dentre as famílias de sinais AM, é enfatizado, neste trabalho, o AM-DSB-TC (*Double Side Band – Transmitted Carrier*), sinal descrito por Lathi (2012) como a soma entre um AM-DSB-SC (*Double Side Band – Suppressed Carrier*) e

uma portadora senoidal. Essa última, adicionada ao sinal AM, é utilizada como alternativa à demodulação coerente, que necessita da portadora para a recuperação da informação de fase. O AM-DSB-TC é simplesmente referido como sinal de amplitude modulada (AM) para se diferenciar do AM-DSB-SC.

Os sinais PM e FM, por sua vez, pertencem à família de modulações em ângulo, possuindo características muito semelhantes entre si, tendo sido o PM originado, historicamente, do conceito do FM. De fato, eles são tão inseparáveis que um sinal generalizado modulado em ângulo representa, necessariamente, os dois tipos de modulação e há uma equivalência entre eles, uma vez que um FM modulado por um sinal $m(t)$ equivale a um PM modulado pela integral de $m(t)$ (LATHI, 2012). A Figura 1 ilustra as formas de onda AM-DSB-SC, AM-DSB-TC, PM e FM tradicionais.

Figura 1 – AM-DSB-SC, AM-DSB-TC, PM e FM com suas modulantes no domínio do tempo



Fonte: Elaborado pelos autores

Modulação digital

De acordo com Coelho (2007), a modulação digital resume-se à modificação da onda portadora de acordo com uma informação digital (sinal modulante) a ser transmitida no canal. As técnicas de modulação digital ASK (*Amplitude-shift Keying*), PSK (*Phase-shift Keying*) e FSK (*Frequency-shift Keying*) são equivalentes às modulações AM, PM e FM respectivamente. A diferença reside na utilização de um sinal modulante digital.

As técnicas de modulação digital mais simples utilizam um sinal binário, que admite somente os valores 1 e 0, para modular uma portadora analógica. Como resultado, têm-se os sinais B-ASK (*Binary Amplitude-shift Keying*), B-FSK (*Binary Frequency-shift Keying*) e B-PSK (*Binary*

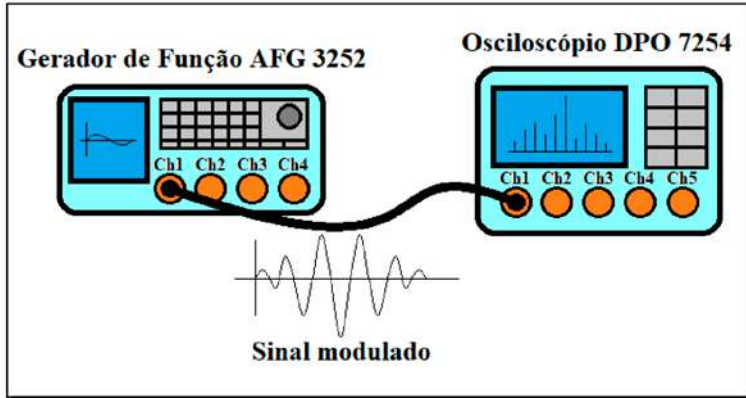
Phase-shift Keying). A técnica B-PSK foi escolhida para a realização dos experimentos com instrumentos de bancada por ser bastante comum nos sistemas de transmissão digital. Consiste na alteração de fase da portadora para dois valores distintos, normalmente, 0 ou 180 graus, cada um representando um dos possíveis estados de *bit* (símbolos) do sinal de informação digital.

EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Os experimentos com instrumentos de bancada foram realizados no Laboratório de Transmissão Digital e Comunicações Eletrônicas (LATEC) do Cefet/RJ, seguindo, inicialmente, a configuração ilustrada na Figura 2. Foram empregados dois instrumentos de bancada: o gera-

dor de funções AFG3252 e o osciloscópio digital DPO7254, ambos da Tektronix.

Figura 2: Configuração adotada nos 3 primeiros experimentos



Fonte: Elaborado pelos autores

Nesta configuração, o canal 1 do Gerador AFG3252 é conectado ao canal 1 do Osciloscópio DPO7254. Nesse esquema, todo o processo de modulação é realizado no próprio AFG3252, cabendo apenas ao DPO7254 a análise dos sinais no domínio do tempo e da frequência. São descritos, a seguir, os procedimentos necessários para a obtenção dos resultados esperados.

Experimento com modulação em amplitude (AM)

Com a modulação AM selecionada na opção *Modulation Type* do AFG3252 é exibido o painel de opções, que permite ao usuário alterar parâmetros como a amplitude, a frequência e a forma de onda. A opção *Amplitude/High* permite modificar o valor padrão da amplitude do sinal da portadora, que foi ajustado para 2 volts pico a pico, enquanto a opção *Frequency/Period* estabelece o valor da frequência da portadora, ou seja, 4,5KHz. Embora o experimento tenha sido realizado com *Offset* da forma de onda nulo, o gerador de funções permite alterar esse parâmetro.

A frequência do sinal modulante foi configurada por meio da opção *AM Frequency* e teve seu valor ajustado para 100Hz. A forma de onda da modulante pode ser modificada facilmente através da opção *Modulation Shape*, que disponibiliza diversos formatos. Para fins de simplificação na análise, foi escolhida a forma de onda seno (opção *Sine* no gerador).

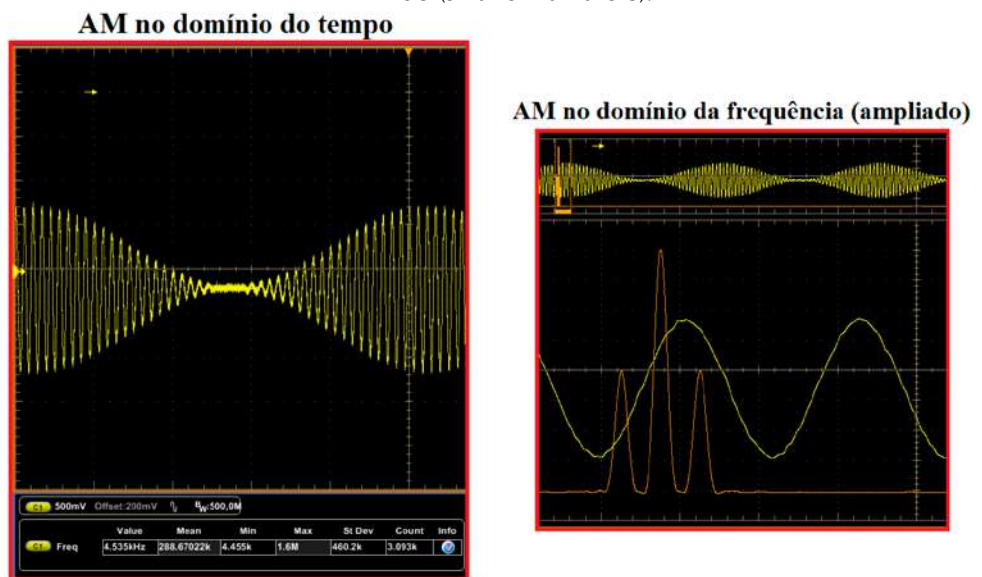
Por fim, o índice de modulação AM foi selecionado através da opção *Depth*, sendo adotado um valor de 100%, o que representa a circunstância limite do AM, onde ocorre a transmissão máxima de potência nas bandas laterais. Nessa condição, o sinal ainda é passível de ser demodulado corretamente. Em resumo, o gerador AFG3252 disponibiliza uma série de recursos que facilita a realização de experimentos com modulação de forma consideravelmente simples.

O osciloscópio DPO7254 permite análises simultâneas nos domínios do tempo e da frequência, para um sinal proveniente de qualquer um dos seus 4 canais. O procedimento para apresentação do espectro consiste em utilizar as opções *Math* e *Basic Spectral* disponíveis no menu de aplicativos do osciloscópio. Essa funcionalidade estabelece alternativas de exibição da magnitude e da fase no domínio da frequência, separadamente, na escala linear ou logarítmica.

A Figura 3 ilustra as telas do DPO7254 com os sinais obtidos nos domínios do tempo e da frequência para a modulação AM. Na tela da esquerda, é mostrado o sinal AM no domínio do tempo, onde é possível identificar o seu comportamento para um índice de modulação de 100%. Na tela da direita, por sua vez, pode-se visualizar, na parte inferior, o espectro do sinal AM ampliado (sinal alaranjado) juntamente com aquele no domínio do tempo, também ampliado (sinal em amarelo).

Figura 3: Sinal AM nos domínios do tempo e da frequência exibidos na tela do DPO7254

Fonte: Elaborado pelos autores



O espectro do sinal AM pode ser entendido através do conceito da transformada de Fourier. Lathi (2012) demonstra que a modulação AM-DSB-TC compreende o espectro do sinal modulante deslocado pela frequência da portadora (f_c). Na modulação AM, a informação da portadora é transmitida conjuntamente com a informação do sinal modulante. A Equação 1 descreve o espectro do sinal AM, onde a informação da portadora está representada pela função delta (δ). A função $M(f)$ é a transformada de Fourier do sinal modulante $m(t)$ e A_c é a amplitude da portadora.

$$\varphi_{AM}(f) = \frac{1}{2}[M(f + f_c) + M(f - f_c)] + \frac{A_c}{2}[\delta(f + f_c) + \delta(f - f_c)] \quad (1)$$

A expressão do AM no domínio do tempo é dada pela Equação 2.

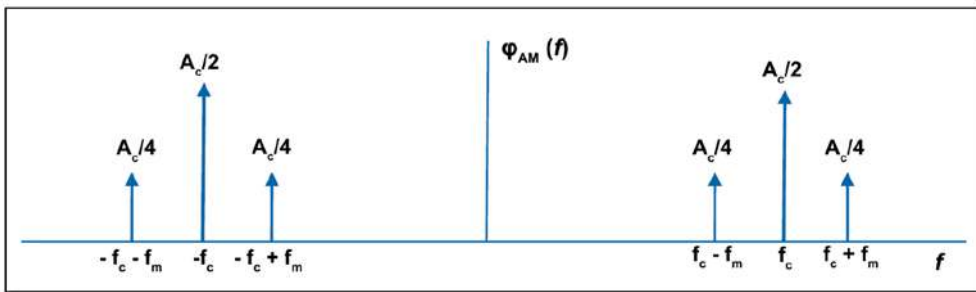
$$\varphi_{AM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (2)$$

Fazendo o sinal modulante $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$, o índice de modulação $A_m/A_c = 1$, expandindo a Equação 2 e tomando a transformada de Fourier, obtém-se a Equação 3, onde f_m é a frequência do sinal modulante.

$$\varphi_{AM}(f) = \frac{A_c}{2} \delta(f + f_c) + \frac{A_c}{4} \{\delta[f + (f_c + f_m)] + \delta[f + (f_c - f_m)]\} + \frac{A_c}{2} \delta(f - f_c) + \frac{A_c}{4} \{\delta[f - (f_c - f_m)] + \delta[f - (f_c + f_m)]\} \quad (3)$$

A Figura 4 ilustra o espectro correspondente à Equação 3. Os impulsos deslocados pelas frequências da portadora e da modulante estão associados às raiais laterais da Figura 3. Já os impulsos deslocados apenas pela frequência da portadora estão relacionados à raia central da Figura 3. Portanto, o espectro da modulação AM obtido com o instrumento de bancada, equivale ao desenvolvido no modelo teórico.

Figura 4: Representação teórica do espectro do sinal AM



Fonte: Elaborado pelos autores

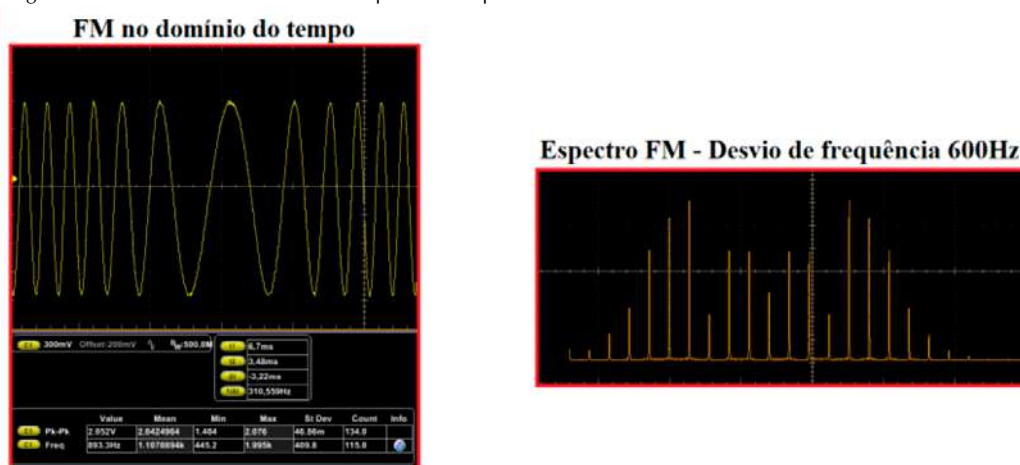
Experimento com modulação em frequência (FM)

Para configurar a modulação em frequência, a opção "FM" em *Modulation Type* deverá ser selecionada no gerador de funções AFG3252. Uma vez marcada essa opção, são exibidos os parâmetros configuráveis para a geração da forma de onda. A opção *FM Frequency* na tela é utilizada para alterar a frequência da modulante, que, para o experimento, foi ajustada em 100Hz. Por outro lado, o valor escolhido para a frequência da portadora (função *Frequency/Period*) foi de 1KHz.

Para a correta configuração de um sinal FM, deve ser escolhido um valor para o desvio de frequência, que equivale à diferença entre a frequência máxima do sinal FM requerida e a frequência da portadora. Esse valor, por sua vez, deve ser ajustado por meio da opção *Deviation* exibida na tela do gerador de funções. Um desvio de frequência de 600Hz, como o escolhido para a experimentação, permite uma frequência máxima teórica de 1,6KHz (Frequência da portadora + Desvio), quando o sinal modulante atinge seu pico positivo e, uma frequência mínima de 400Hz (Frequência da portadora - Desvio), quando esta atinge seu pico negativo.

Novamente, foi selecionado um *Offset* nulo para uma onda modulante do tipo senoidal. A amplitude da portadora foi configurada para 2 volts pico a pico no osciloscópio. O espectro é obtido de forma análoga ao executado para o sinal AM, sendo ilustrado conjuntamente com o sinal no domínio do tempo na Figura 5.

Figura 5: Sinal FM nos domínios do tempo e da frequência exibidos na tela do DPO7254



Fonte: Elaborado pelos autores

O valor da frequência instantânea apresentada no DPO7254 varia continuamente, pois é esse o parâmetro controlado durante a modulação FM. Já a amplitude do sinal se mantém em torno de 2 volts pico a pico, como originalmente configurado. Nota-se que o espectro FM se diferencia do AM pela presença de uma série de raias, em oposição às observadas no sinal AM. As amplitudes das raias podem ser controladas

variando-se o desvio de frequência e, consequentemente, o índice de modulação. Isso altera a largura de banda essencial do sinal. Além do desvio de frequência de 600Hz, foram elaborados experimentos com desvios de 300 e 700Hz. A Figura 6 ilustra os espectros do sinal para os desvios de frequência considerados. Nessa figura, observa-se o alargamento da banda com o aumento do desvio de frequência.

Figura 6: Comparação de espectros FM para diferentes desvios de frequência



Fonte: Elaborado pelos autores

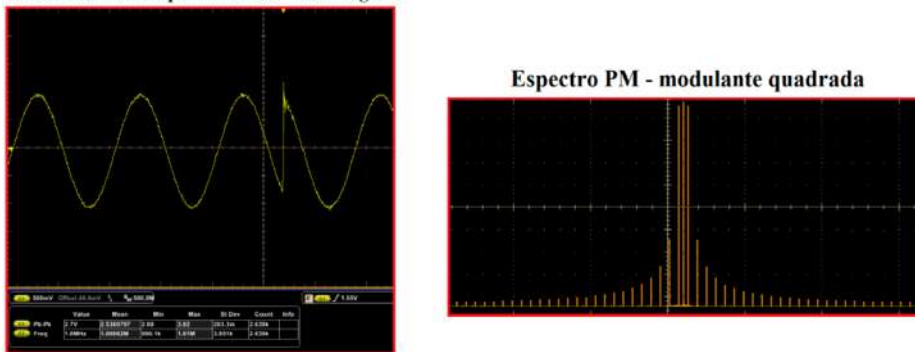
Experimento com modulação em fase (B-PSK)

Esse tipo de modulação deve ser configurado através da opção "PM" do gerador de funções AFG3252. A frequência da modulante foi ajustada para o valor de 3KHz por meio da opção *PM Frequency*. A frequência e a amplitude da portadora foram ajustadas no osciloscópio para 1MHz e 2 volts pico a pico respectivamente. O *Offset* foi configurado como nulo. No entanto, diferentemente das experiências com AM e FM, a modulante foi configurada para trabalhar como uma onda quadrada, com o objetivo de demonstrar o comportamento de um sinal de modulação

digital B-PSK. A modulação de dois símbolos PSK trabalha com as fases 0 e 180 graus. No entanto, o gerador de funções possibilita configurar outros valores, que podem ser ajustados na função *Deviation*. Para uma melhor compreensão, por parte dos discentes, do comportamento da modulação com desvio de fase diferente de 180 graus, o experimento foi realizado com fases de 0 e 120 graus. A transição de uma fase para outra ocorre no momento em que a onda quadrada, representando os bits 0 e 1, muda de nível, o que pode ser observado na Figura 7 (imagem da esquerda). A Figura 7 também ilustra a modulação PSK no domínio da frequência (imagem da direita).

Figura 7: Sinal B-PSK nos domínios do tempo e da frequência exibidos na tela do DPO7254

PM com modulante quadrada: fases 0 e 120 graus



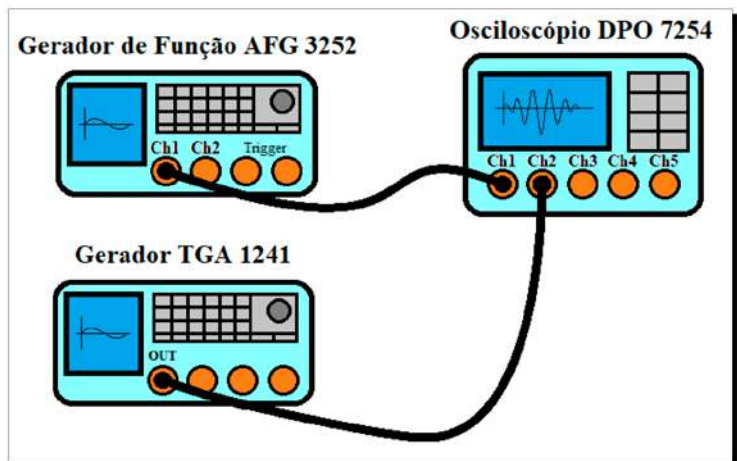
Fonte: Elaborado pelos autores

Comparando-se o espectro apresentado na Figura 7 com aqueles das Figuras 5 e 6, percebe-se que o sinal B-PSK apresenta uma semelhança com o FM em relação à quantidade de raias. O valor de suas amplitudes, no entanto, decai de forma acentuada, mantendo uma concentração de potência nas raias centrais. No domínio do tempo, o sinal B-PSK apresenta uma alteração abrupta da fase quando a onda quadrada muda de estado. Essa mudança se torna mais acentuada quando o desvio de fase se aproxima de 180 graus. A tabela na parte inferior da Figura 7 exibe uma frequência de 1MHz para o sinal modulado, como originalmente configurado no AFG3252. Já a amplitude instantânea pico a pico se afasta ligeiramente do valor inicialmente configurado de 2 volts. Como mostra a tabela, os valores mínimo e máximo correspondem a 2,08 e 3,02 volts respectivamente. Esse é um recurso importante nos novos osciloscópios digitais, que permite analisar a estatística do sinal (valor instantâneo, mínimo, máximo, médio e desvio padrão) de modo a evidenciar possíveis instabilidades.

Sinal AM-DSB-SC obtido a partir de operações aritméticas no DPO7254

O osciloscópio DPO7254 possibilita a execução de operações aritméticas como subtração e multiplicação entre sinais de diferentes canais, o que permite a obtenção de um sinal AM-DSB-SC. A Figura 8 ilustra o esquema adotado nesse novo experimento, que representa mais uma possibilidade mediante os recursos disponíveis no instrumento.

Figura 8: Geração do sinal AM-DSB-SC



Fonte: Montagem dos autores

O AM-DSB-SC é caracterizado pela transmissão do sinal de informação (modulante) deslocado pela frequência da portadora, mas sem a informação desta, como na modulação AM-DSB-TC. A modulação AM-DSB-SC pode ser obtida simplesmente pelo produto do sinal de informação $m(t)$ pela portadora, conforme a Equação 4. Já a Equação 5, representa o sinal no domínio da frequência.

$$\varphi_{DSB-SC}(t) = m(t)\cos(2\pi f_c t)$$

(4)

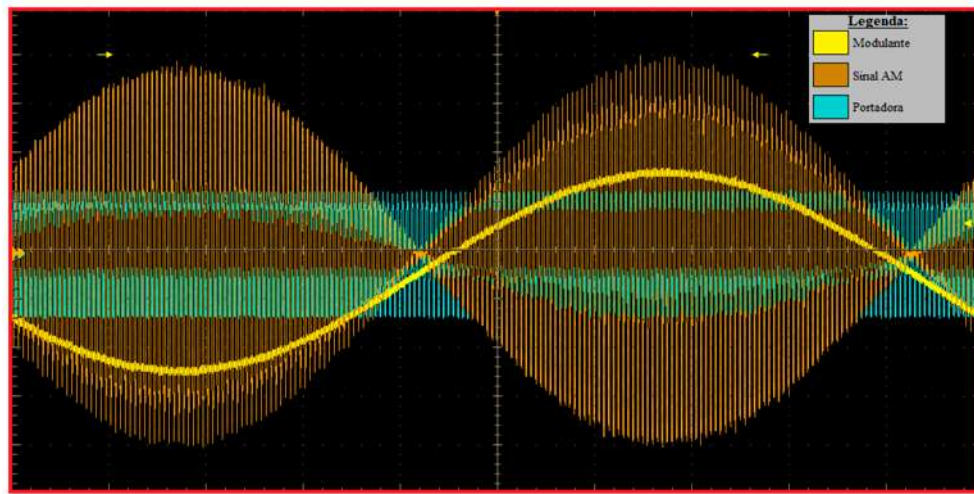
$$\varphi_{DSB-SC}(f) = \frac{1}{2}[M(f + f_c) + M(f - f_c)]$$

(5)

O experimento consistiu na geração de uma portadora de 10KHz e uma modulante senoidal de 50Hz em equipamentos distintos, cada qual conectado a um canal do osciloscópio. Nesse esquema, foram utilizados os geradores de funções AFG3252 e TGA1241. Outra opção é gerar os dois sinais em canais diferentes do AFG3252. No osciloscópio, o canal 1 corresponde ao sinal modulante e o canal 2 à portadora. O osciloscópio digi-

tal DPO7254 permite a combinação desses sinais fazendo o produto dos canais 1 e 2. Na Figura 9, o sinal modulante (canal 1) está representado em amarelo e a portadora (canal 2), em azul. O resultado do produto, sinal modulado AM-DSB-SC, está representado na cor laranja. O osciloscópio digital DPO7254 dispõe de recursos de *software*, o que permite a combinação dos seus quatro canais utilizando operações aritméticas.

Figura 9: Exibição do sinal AM-DSB-SC juntamente com sua portadora e sua modulante



Fonte: Montagem dos autores

CONCLUSÕES

Os novos instrumentos de bancada são muito versáteis, apresentando um grande potencial para uso no aprendizado prático em laboratório. De fato, sua utilização como estratégia de fixação do conhecimento e motivação dos alunos representa uma técnica bastante satisfatória de ensino. Esses instrumentos possuem uma grande variedade de funcionalidades, que podem ser aplicadas no desenvolvimento de práticas que ajudem no entendimento dos conceitos teóricos estudados em sala de aula. Neste trabalho, foram apresentadas práticas referentes às técnicas de modulação empregadas em sistemas de telecomunicações. O aprendizado dos métodos de modulação é fundamental para a compreensão de diversos aspectos tecnológicos relacionados ao universo da Engenharia de Telecomunicações. Nos experimentos, foram utilizados os geradores de funções AFG3252 (Tektronix) e TGA1241 (*Thurlby Thandar Instruments – TTI*), bem como o osciloscópio digital DPO7254 (Tektronix).

Demonstrou-se que as técnicas de modulação AM, FM e B-PSK podem ser configuradas e geradas facilmente com o uso dos referidos instrumentos. Os resultados foram, então, exibidos nos domínios do tempo e da frequência por

meio do osciloscópio digital. As configurações adotadas nos experimentos permitiram o uso de poucos equipamentos. Coube ao osciloscópio digital a função de análise dos sinais resultantes dos processos de modulação. Através desse equipamento, pôde-se visualizar o formato da onda modulada, assim como o seu espectro, duas representações que permitem a compreensão das principais diferenças entre as técnicas de modulação. Além disso, foi possível obter informações estatísticas relacionadas à frequência e à amplitude dos sinais, adquiridas a partir das amostras processadas pelo osciloscópio digital.

O artigo também apresentou a opção, que delega ao osciloscópio, da combinação dos sinais a partir dos seus canais. Isso foi possível graças aos recursos de *software* embarcados no equipamento, que permitiram a realização de operações aritméticas com os seus canais de entrada. Nesse experimento, foi obtido um sinal AM-DSB-SC, que, diferentemente do AM-DSB-TC, não transporta a informação da portadora. Os instrumentos de bancada possuem funcionalidades que lhes conferem uma maior flexibilização na criação de práticas laboratoriais. Essa é uma questão essencial para o incentivo e motivação dos discentes na busca pelo entendimento dos conceitos teóricos desenvolvidos em sala de aula.

Novos trabalhos irão explorar o uso de outras técnicas de modulação. Também serão conduzidos estudos para melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no desenvolvimento de práticas relacionadas aos outros temas explorados no curso de Engenharia de Telecomunicações do Cefet/RJ.

REFERÊNCIAS

- COELHO, D. V. N. *Estudo sobre a viabilidade de utilização de sistemas com multiplexação por subportadora*. 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007.
- CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CNE). Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. *Diário Oficial da União*, seção 1, Brasília, DF, p. 43, 26 abr. 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/>. Acesso em: 13 ago. 2020.
- HILLBORN, R. B. Team learning for engineering students. *IEEE Trans. on Education*. v. 37, n. 2, p. 207-211, 1990.
- KOEHLER, L. P. *et al.* A contextualização do ensino de engenharia baseada em plantas industriais. In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2012). São Luís: IFMA/UEMA. *Anais...* 2012.
- LATHI, B. P.; DING, Z. *Sistemas de comunicações analógicos e digitais modernos*. Tradução de J. R. Souza. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012. 420 p.
- NUNES, R. R. *Análise da taxa de rejeição sistêmica para diversos esquemas de modulação*. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- PAINES, P. A. *Desenvolvimento de kit didático de geração de energia solar*. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.
- QUINTINO, L. F. *et al.* Kit didático de baixo custo para práticas interdisciplinares em cursos de Engenharia Eletrônica. *Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, [S.l.], n. 34, p. 124-131, jun. 2017. ISSN 2447-9187. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/1341>. Acesso em: 9 jul. 2020.
- TEKTRONIX. *Arbitrary/Function Generators: AFG 3011 / 3021B / 3022B / 3101 / 3102 / 3251 / 3252 Datasheet*, 2012. 8 p.
- TEKTRONIX. *Digital Phosphor Oscilloscopes: DPO7000 Series Data Sheet*, 2010. 20 p.

Dados dos autores

Bryan da Silva Duarte (bryansilvaduarte@gmail.com). Bacharel em Engenharia de Telecomunicações pelo Cefet/RJ, campus Maracanã.

Gilson A. Alencar (gilson.alencar@cefet-rj.br). Professor Associado do Departamento de Engenharia de Telecomunicações do Cefet/RJ.

COMPARAÇÃO ENERGÉTICA: MÉTODOS DE CLIMATIZAÇÃO *SPOT COOLING* E VOLUME TOTAL

Alexandre Silva de Lima

Fábio Pinheiro Ribeiro

RESUMO: Grandes espaços sempre foram desafiadores, no ramo da climatização. Nesses casos, os métodos tradicionais se mostram ineficientes energeticamente. A proposta deste trabalho é apresentar um método não convencional, *spot cooling*, e provar sua maior eficácia. Tal comprovação é exposta através da comparação energética entre a solução alternativa e o método tradicional, volume total. Para melhorar a análise do *spot cooling*, é desenvolvida uma calculadora de parâmetros que calcula o gasto energético dessa aplicação. Visando ao cálculo das cargas térmicas incidentes sobre o sistema, é escolhido um galpão-modelo com variáveis conhecidas. Com todas as proposições definidas e calculadas, **são elaborados gráficos de performance** de ambos os sistemas, ilustrando a melhor aplicabilidade para diferentes casos se atendo às normas NR-15 e ASHRAE 55 e seus requisitos de conforto térmico. Os resultados do trabalho demonstram larga vantagem na aplicação do método de *spot cooling* para aplicação industrial de baixa densidade populacional.

Palavras-chave: *Spot Cooling*. HVAC. **Métodos** de climatização. Volume total.

ABSTRACT: Among the solutions in the refrigeration industry, large spaces have always been challenging, as in these cases the traditional methods are energy inefficient. The purpose of this paper is to present an unconventional cooling method, spot cooling, and prove its greatest effectiveness for large spaces. Such proof is exposed through the energetic comparison between the alternative solution and the traditional total volume method. To improve the analysis of the spot cooling method, a parameter calculator was programmed to find the energy expenditure of this application with high precision. In order to calculate the thermal loads on the systems, a model industrial shed with known variables is chosen. With all propositions defined and calculated, performance's graphs of both systems are drawn to illustrate the best applicability for different cases meeting NR15 and ASHRAE 55 standards and their thermal comfort requirements. The results of the work demonstrate a great advantage in the application of spot cooling method for low population density industrial application. While the traditional method of full volume cooling is more efficient in dense environments.

Keywords: Spot Cooling. HVAC. Cooling systems. Total volume.

INTRODUÇÃO

A climatização de grandes espaços sempre se mostra como um desafio na área de ar-condicionado. O sistema tradicional, como o de volume total, nessas situações, pode se apresentar ineficiente energeticamente ou inviável financeiramente. Para isso, a aplicação de um sistema não convencional de climatização pode solucionar parte desses desafios.

O método de volume total consiste na climatização de todo o ambiente, não somente dos postos de trabalho. Com isso, é necessário considerar as cargas térmicas que incidem sobre ele. Para que seja possível o cálculo da carga térmica, é preciso considerar um ambiente-modelo, com variáveis conhecidas.

O *spot cooling* consiste em jatos de ar individuais localizados logo acima dos postos de trabalho (AZER, 1982). Esses jatos combinam dois fatores primordiais relacionados ao conforto, a velocidade e a temperatura, e permitem que o espaço se adeque às normas tanto nacionais, NR-15, quanto internacionais, ASHRAE 55. Sua aplicação pode propiciar conforto térmico e aumentar a satisfação do trabalhador e, conseqüentemente, sua produtividade.

Neste trabalho, é desenvolvida uma calculadora de parâmetros aplicados ao método de *spot cooling* para possibilitar a análise de um grande número de combinação de fatores. As melhores condições são selecionadas e, assim, é calculado o gasto energético necessário anualmente por posto de trabalho.

O entendimento de todas as variáveis é importante para estabelecer uma comparação entre o método convencional e o de *spot cooling* e, assim, auxiliar a escolha do sistema adequado para uma instalação de climatização em grandes espaços, a fim de propiciar conforto aos trabalhadores e otimizar os recursos financeiros disponíveis.

METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consiste, inicialmente, na avaliação das normas de conforto térmico, de forma a definir os resultados de temperatura e velocidade esperados para cada método.

Após a definição dos parâmetros de conforto a serem atingidos, inicia-se o cálculo de carga térmica do galpão-modelo, do sistema de volume total. O cálculo de carga térmica faz-se

de forma individualizada, ou seja, cada carga incidente sobre o sistema é calculada separadamente. Com essa individualização do processo, é possível propor melhorias às variáveis mais deficientes e chegar a valores de carga térmica menores para cada etapa, aperfeiçoando a análise de eficiência do método. Com cada valor individual calculado, estima-se a carga térmica desse método, variando a quantidade de pessoas no seu interior, de modo a obter taxas de densidade, que permitam a comparação com o método seguinte.

Em comparação ao sistema anterior, cria-se uma ferramenta interativa, que calcula o gasto energético de todas as combinações possíveis, entre todas as variáveis que incidem sobre o projeto de um sistema do tipo *spot cooling*. Com esses resultados, identifica-se qual combinação de parâmetros atende, de maneira mais eficaz, aos valores referentes ao conforto descobertos anteriormente. O produto final da análise é uma tabela que apresenta os melhores parâmetros iniciais de acordo com sua eficiência energética e o gasto anual referente a um posto de trabalho.

Com os dois métodos calculados, inicia-se a comparação. Para cada situação proposta, são elaboradas curvas correspondentes ao desempenho do sistema e, a partir destas, são feitos equacionamentos a fim de encontrar polinômios que as descrevam. Dessa forma, pode-se determinar as intersecções e estabelecer as faixas adequadas de aplicação para cada método de acordo com a quantidade de pessoas. O número analisado apresenta-se em densidade (pessoas por cem metros quadrados) para ampliar a aplicabilidade do estudo, sem restringi-lo aos parâmetros construtivos deste trabalho.

DESENVOLVIMENTO

Critério exigido por normas

Para a análise dos sistemas, serão adotadas duas normas: a norma ASHRAE 55, focada em conforto térmico, e a NR 15, norma regulamentadora de condições de trabalho.

NORMA INTERNACIONAL ASHRAE 55

A norma ASHRAE 55 é a que regulamenta o conforto térmico. Ela o equaciona por meio de dois índices, o PMV (voto médio estimado) e PPD (percentual de pessoas insatisfeitas). Essa norma define uma faixa de valores aceitáveis dessas duas variáveis: o PMV deve ser de -0,5 a 0,5 e o PPD de até 10% (ISO 7730, 2005).

Com o auxílio de uma ferramenta de cálculo dos índices descritos acima, é possível estabelecer os números de temperatura e velocidade do ar aceitáveis. Essa ferramenta consiste na criação de uma faixa de aceitação do conforto dentro de uma carta psicrométrica (TYLER, 2017).

Os parâmetros necessários para o cálculo são:

- temperatura do ambiente;
- velocidade do ar;
- umidade relativa;
- taxa metabólica; e
- tipo de roupa (valor fixado em 0,7 que corresponde à vestimenta típica de fabril, macacão).

Com intuito de definir as temperaturas de bulbo seco adequadas para cada tipo de metabolismo analisado, foram testadas diversas opções, até que fossem encontradas as temperaturas abaixo, Tabela 1 e 2.

Tabela 1: Temperaturas (°C) correspondentes para cada taxa metabólica – volume total

MET	TBS
1,77	28,6
2,16	27,6
2,94	25,5
4,32	21,9

Tabela 2: Temperaturas (°C) correspondentes para cada taxa metabólica – *spot cooling*

MET	TBS
1,77	28,9
2,16	27,7
2,94	25,3
4,32	21,0

NORMA REGULAMENTADORA DE ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

O Anexo III da NR-15 (Norma Regulamentadora de Atividades e Operações Insalubres), constante da Portaria 3.214 do Ministério do Trabalho, tem por finalidade determinar limites de tolerância para exposição ao calor permitidas nos locais de trabalho, a fim de verificar possíveis condições de insalubridade (NR-15, 2015).

Os parâmetros da NR-15 são 26,7 IBTUG para trabalho moderado e 25,0 IBTUG para trabalho pesado. De acordo com a equação do IBTUG, considerando para o *spot cooling* a umidade relativa de 80% e, para volume total, de 50% temos:

Tabela 3: Temperaturas máximas (°C) para Regulamentação NR-15

UR%	NR15			
	MODERADO		PESADO	
	TBS	TBU	TBS	TBU
80%	28,68	25,85	26,90	24,18
50%	32,62	24,18	30,68	22,56

Após a determinação dos parâmetros de temperatura a serem atingidos para o atendimento das normas, pode-se iniciar os cálculos de ambos os métodos.

Estudo de caso – método de volume total

Com a proposta de comparação entre uma solução altamente difundida de climatização (volume total) com o método de *spot cooling*, é necessário definir o estudo de caso. Serão, então, avaliados os fatores necessários para a determinação da eficiência da aplicação do método de volume total.

Para estabelecer um método de comparação, foi escolhido um galpão-modelo, com características pré-definidas para o cálculo da carga térmica. Dessa forma, é necessária a determinação destas características, sendo elas:

- localização geográfica;
- características construtivas do edifício;
- potência dissipada pela iluminação do galpão;
- renovação de ar (ASHRAE STANDARD 62.1, 2007);
- dissipação térmica gerada pelas pessoas.

Serão calculadas cargas parciais individuais de cada parâmetro e somadas ao final dessa análise, com a intenção de estabelecer o gasto anual energético.

É proposta uma condição inicial para cada parâmetro, de forma a refletir a realidade da construção brasileira. Caso se encontrem valores muito elevados de carga térmica, será proposta uma melhoria ao parâmetro deficitário. Com isso, será possível analisar o método de volume total mais eficiente energeticamente, fazendo justiça à comparação ao *spot cooling*.

Com todos os valores individuais calculados e todas as melhorias propostas aplicadas, obtém-se o cálculo da carga térmica total.

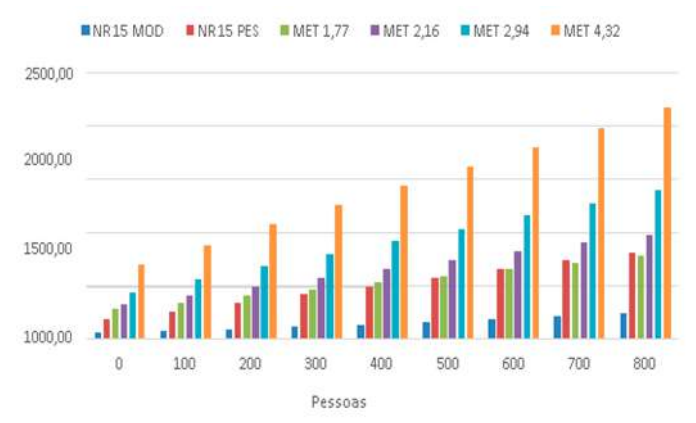
Os valores somados considerados são:

- carga térmica por hora proveniente dos parâmetros construtivos;
- carga térmica proveniente da iluminação;
- carga térmica de ar exterior por área, calculada a partir do método de entalpia;
- calor dissipado por cada pessoa e sua dissipação específica de acordo com o metabolismo referente;
- carga de ar exterior por pessoa.

Para comparação do método de volume total com o método de *spot cooling*, a carga térmica foi calculada para diferentes quantidades de pessoas.

Com o intuito de ilustrar o perfil de crescimento da carga de acordo com as características propostas, é apresentado um gráfico na Figura 1. Neste, é possível observar que a delimitação do tipo de trabalho desenvolvido dentro da indústria afeta significativamente a carga térmica do sistema, portanto, é de essencial importância para a eficiência energética, a escolha da norma a ser atendida.

Figura 1: Gráfico de comparação entre carga térmica (kW) com quantidades de pessoas distintas



Desenvolvimento do Programa de Seleção de Parâmetros do *Spot Cooling*

Para viabilizar a comparação entre os dois métodos, foi primordial a construção de uma programação em linguagem VBA (Visual Basic Application), que simule o cálculo e a seleção de parâmetros do *spot cooling* adequados às premissas de conforto térmico, priorizando a maior eficiência energética possível.

O objetivo da aplicação de um método de cálculo interativo é possibilitar a análise de um maior número de dados para definir parâmetros. Para tal, foi desenvolvido o PSP (Programa de Seleção de Parâmetros do *Spot Cooling*).

No seu desenvolvimento, inicialmente é necessária análise das equações para o cálculo das variáveis e a definição de quais são os critérios modulares, que serão inseridos pelo usuário, e o produto final esperado pelo cálculo.

O sistema *spot cooling* é condicionado por duas variáveis: temperatura e velocidade (KOESTEL, 1954). Essas variáveis são o produto esperado pelo cálculo e podem ser definidas pelas equações (1) e (2) (GOODFELLOW, 2001).

$$v_x = K_1 * v_0 * \frac{\sqrt{A_0}}{x} * K_n \quad (1)$$

$$\frac{\theta_x - \theta_{OZ}}{\theta_0 - \theta_{OZ}} = K_2 \frac{\sqrt{A_0}}{x} * \frac{1}{K_n} \quad (2)$$

v_x Velocidade na distância x (m/s)

K_1 Constante da característica dinâmica para jatos compactos

v_0 Velocidade inicial (m/s)

A_0 Área do difusor (m²)

x Distância percorrida pelo jato (m)

K_n Constante de não isothermalidade

K_2 Constante da característica térmica para jatos compactos

θ_x Temperatura na distância x (K)

θ_{OZ} Temperatura ambiente (K)

θ_0 Temperatura de insuflação (K)

No cálculo dessas duas variáveis, subdividiu-se em dois tipos de parâmetros de definição, os condicionais e os iniciais. Os parâmetros iniciais são as condições impostas ao sistema, enquanto os parâmetros condicionais são os calculados a partir dos iniciais, apresentados na Figura 2.

Figura 2: Userform para inserção de dados

Para otimizar a análise de diversas variáveis, foi proposta a possibilidade de inserção de faixas para os parâmetros iniciais. Sendo assim, elaboraram-se campos de parâmetro, de intervalo entre eles e de repetição de vezes em que esse intervalo é somado.

Para facilitar o entendimento, supõem-se, como exemplo, que sejam inseridos valores para a temperatura de insuflação, como na Figura 3.

Figura 3: Exemplo de inserção de parâmetros

Nesse caso, soma-se um ao valor inicial de quinze, quatro vezes. Dessa forma, serão utilizadas as temperaturas de insuflação em graus Celsius de 15, 16, 17, 18 e 19, nas bases de cálculo do programa. Essa lógica se aplica a todos os parâmetros iniciais.

Para atender à proposta do projeto, possibilitou-se a inserção de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e ponto de orvalho anuais

para cada hora de trabalho utilizadas como base de cálculo. Dessa forma, os parâmetros podem ser alterados para análises em diferentes localidades, mas, caso não sejam, estão pré-definidos com condições reais da cidade do Rio de Janeiro.

Com a definição de todas as faixas de parâmetros iniciais, são criadas quarenta e quatro planilhas, uma para cada temperatura do banco de dados. Depois da criação das planilhas, os dados são dispostos em todas as combinações de parâmetros possíveis. Caso a temperatura de insuflação seja menor ou igual à de ponto de orvalho, esse parâmetro é desconsiderado pela calculadora, pois esse caso possibilita a condensação do vapor de água.

Com todas as informações dispostas em cada planilha, o programa começa a calcular a velocidade e a temperatura finais dos jatos. Caso a temperatura final seja menor ou igual à de insuflação, esse parâmetro também é desconsiderado pela calculadora, pois, nesse caso, caracteriza-se que a equação utilizada pela calculadora não se aplica a essa combinação de parâmetros, portanto, assume-se que o jato ainda não atingiu a zona de fluxo turbulento estabilizado.

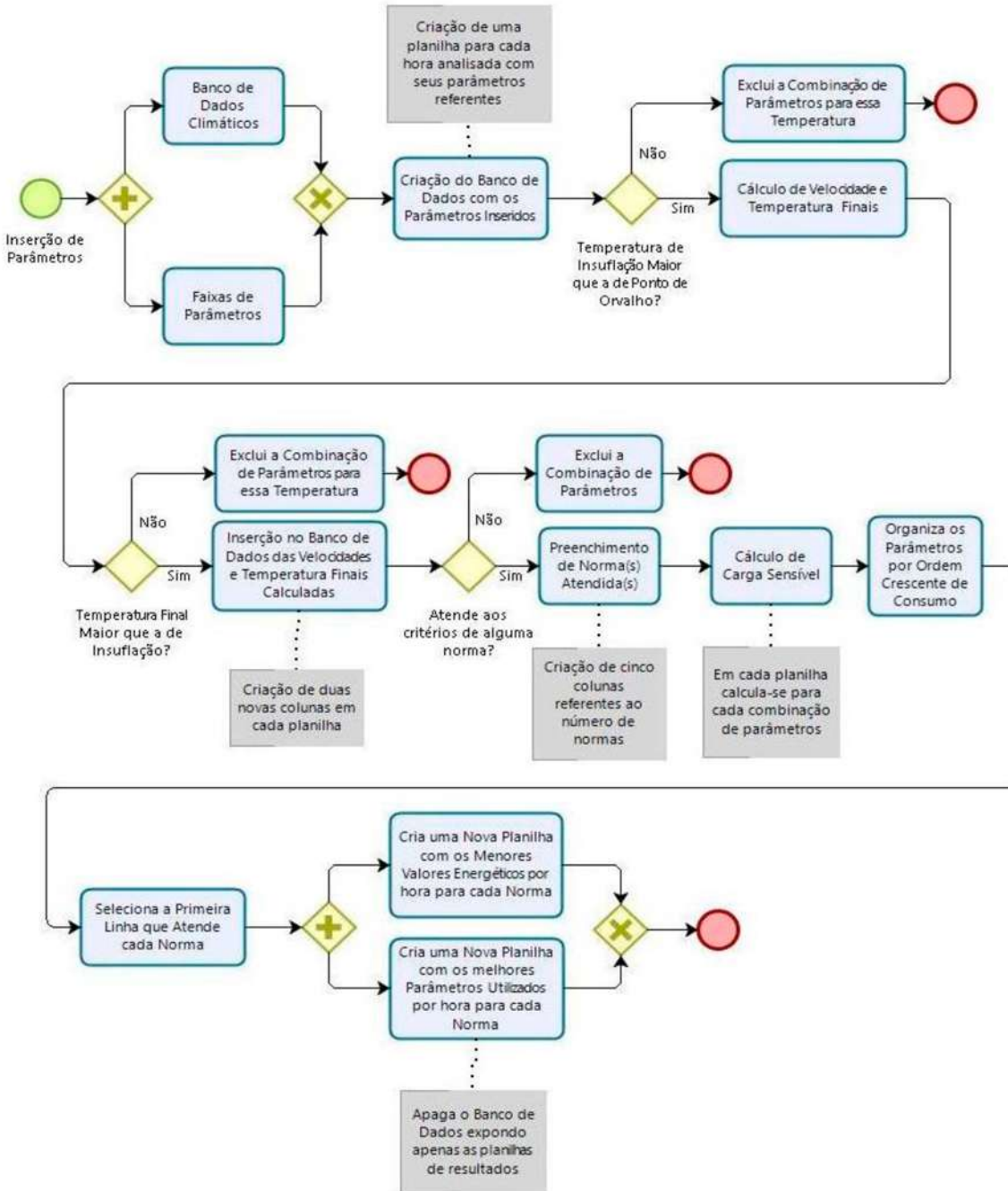
Posteriormente, o programa analisa quais combinações de fatores atendem cada condição, conforme os valores de temperatura e velocidade requeridos pelas normas e apaga as combinações (linha de parâmetros) que não atendam a nenhuma. Após a verificação de cumprimento das normas, o programa executa o cálculo de calor extraído da massa de ar insuflada.

É aplicado o fator multiplicador referente ao número de dias por ano que a temperatura ocorre. Com o valor unitário do calor retirado calculado, ao multiplicá-lo pelo fator multiplicador obtém-se o resultado anual do calor sensível referente à hora da linha.

Para que os melhores parâmetros sejam selecionados, a planilha organiza os resultados de calor sensível anuais por hora de forma crescente. Com o somatório da primeira linha em todas as quarenta e quatro tabelas de parâmetros que atendam a um determinado aspecto das normas, geram-se cinco resultados anuais de calor sensível para os parâmetros inseridos. O programa também gera uma planilha com todos os parâmetros ideais para cada hora típica.

A fim de melhor exemplificar o processo de execução do programa de forma cronológica, segue fluxograma ilustrativo (Figura 4).

Figura 4: Fluxograma de inserção de parâmetros



COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

A comparação dos métodos de climatização tratados no decorrer do presente trabalho resultou das análises dos melhores resultados obtidos por ambos os métodos calculados. Para padronizar, utilizaram-se taxas obtidas pela equação (3) elaborada abaixo e, dessa forma, possibilita-se a escolha do modelo adequado à aplicação.

O cálculo realizado para que essa taxa seja calculada é:

$$\dot{c} = \frac{C_{an} * 1000}{d * h * m * A_t} \quad (3)$$

- \dot{c} Taxa de carga por metro quadrado por hora (W/m²*h)
- C_{an} Carga térmica anual (kW)
- d Dia
- h Hora (h)
- m Mês
- A_t Área total do galpão (m²)

Com os valores de consumo energético anuais convertidos às taxas, são elaborados gráficos e equações que descrevem a tendência de crescimento. Com essas equações, pode-se identificar quais condições são mais adequadas à aplicação de cada método.

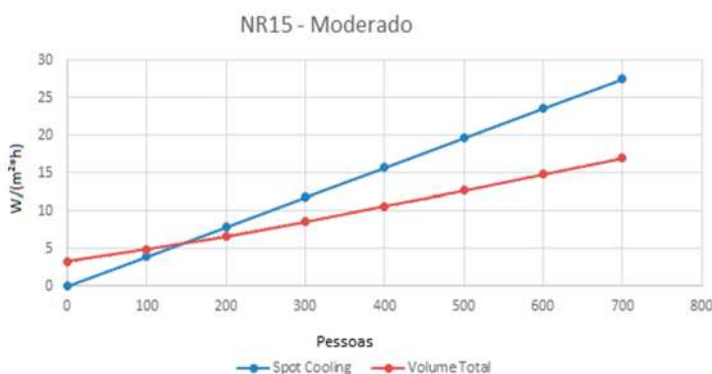
Taxas energéticas de cada método para adequação aos parâmetros das normas

O gráfico e a tabela abaixo apresentam as taxas em W/(m²/h) consumidas pelos sistemas para o atendimento da norma NR-15 Moderado, para cada ocupante do ambiente.

Tabela 4: Taxa (W/(m²/h)) de acordo com o número de ocupante para NR-15 Moderado

Pessoas	NR-15 Moderado	
	Spot cooling	Volume total
0	0,00	3,26
100	3,92	4,89
200	7,85	6,63
300	11,77	8,53
400	15,70	10,60
500	19,62	12,69
600	23,54	14,78
700	27,47	16,98

Figura 5: Gráfico que descreve o perfil de carga térmica do modelo para NR-15 Pesado



As equações que melhor descrevem as curvas do gráfico são:

Curva do Volume total:

$$y = 5 * 10^{-6}x^2 + 0,0165x + 3,26 \quad (4)$$

Spot cooling:

$$y = 0,0392x \quad (5)$$

Para encontrar os pontos de interseção entre os gráficos, deve-se igualar as equações e encontrar as raízes, como mostrado na equação (6).

$$0,0392x = 5 * 10^{-6}x^2 + 0,0165x + 3,26 \quad (6)$$

$$5 * 10^{-6}x^2 - 0,0227x + 3,26 = 0$$

$$x_1 = 4391,53$$

$$x_2 = 148,47$$

Como se trata de uma equação do segundo grau, encontram-se duas raízes, porém só uma está na região de interesse. A interseção entre as curvas indica o ponto na qual o consumo energético para o atendimento das normas é o mesmo nos dois métodos analisados. Portanto, pode-se concluir que o valor gasto em watts para garantir o cumprimento da NR-15 Moderado para 148 pessoas no galpão-modelo é aproximadamente o mesmo.

Para que o resultado dessa análise não fique restrito ao modelo do galpão proposto, é executada uma nova parametrização do resultado. Dessa vez, é criada uma taxa de densidade em pessoas por 100 m² e, assim, encontra-se um resultado mais global, de forma a ser comparado com diversas situações. Essa parametrização se repetirá para as próximas adequações (equação (7)).

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = \frac{148}{45,6} \quad (7)$$

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 3,25$$

A taxa acima encontrada de 3,25 é a taxa máxima para aplicação do método *spot cooling* de forma mais eficiente em comparação ao método de volume total.

O mesmo cálculo é realizado para todos os critérios, tanto da NR-15 quanto da norma internacional ASHRAE 55. As taxas encontradas para cada são apresentadas a seguir.

· NR-15 Pesado;

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 15,92 \quad (8)$$

· ASHRAE 55 – MET 1,77;

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 7,87 \quad (9)$$

· ASHRAE 55 – MET 2,16;

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 7,94 \quad (10)$$

· ASHRAE 55 – MET 2,94;

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 5,46 \quad (11)$$

· ASHRAE 55 – MET 4,92;

Não é possível chegar a valores satisfatórios com o uso do *spot cooling*. Pode-se concluir, então, que, para essa situação da norma, é necessário o uso do método de volume total.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por meio da análise dos resultados obtidos na comparação entre os dois métodos, o *spot cooling* se mostrou bastante eficiente para aplicação em indústrias e galpões com uma densidade populacional relativamente baixa.

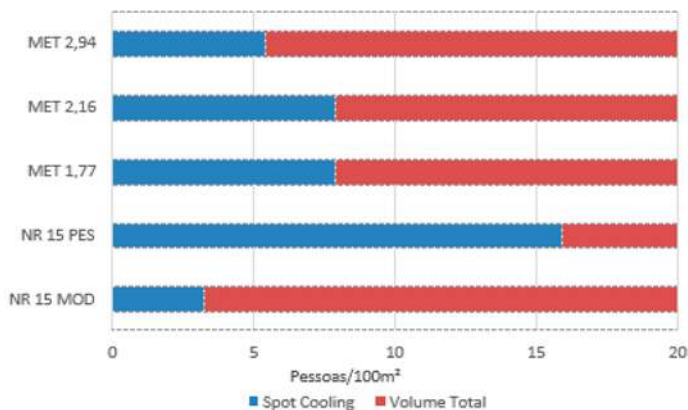
Pode-se concluir também que, para aplicações em regimes de trabalho pesados, como exigido na NR-15 Pesado, o método *spot cooling* apresenta um desempenho muito superior. Esse fenômeno se deve à alta taxa de dissipação térmica de seus ocupantes, o que causa um aumento expressivo da carga térmica, no caso

do volume total, devido ao alto grau de trabalho exercido pelo metabolismo.

Outro ponto analisado é que, para a norma ASHRAE 55, no caso do MET 4,92, o único método é o de volume total. Isso acontece devido ao bioclima tropical da cidade do Rio de Janeiro, que causa umidades muito expressivas, impedindo que os jatos de ar sejam insuflados com baixa temperatura e impossibilitando sua chegada na zona de ocupação nas condições desejadas.

As faixas de aplicação para os métodos, *spot cooling* e volume total, estão representadas no gráfico abaixo. Esse gráfico simula o galpão para uma taxa máxima de até 20 pessoas por 100 m².

Figura 6: Gráfico que descreve o perfil de carga térmica do modelo para NR-15 Pesado



Simulação de um caso prático

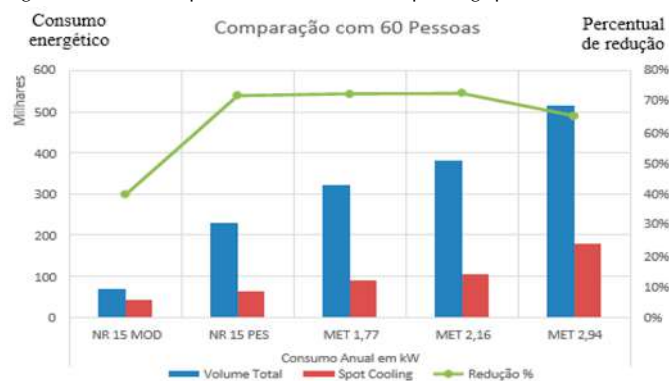
Para efeito prático, simulou-se o galpão modelo com sessenta postos de trabalho, para, assim, analisar a eficiência do método *spot cooling*, calculando a carga anual para o método de volume total de *spot cooling* e a redução energética gerada pela aplicação do *spot cooling*.

Tabela 5: Comparação entre os métodos para o galpão-modelo com 60 pessoas

Método	Consumo anual em kW				
	NR 15 MOD	NR 15 PES	MET 1,77	MET 2,16	MET 2,94
Volume total	70559.28	229124.85	322066.09	381550.42	515743.32
Spot cooling	42515.57	64255.65	88372.52	104367.78	178555.53
Redução %	40%	72%	73%	73%	65%

Por meio da Tabela 5 e da Figura 7, observa-se que há vantagem do método *spot cooling* sobre o de volume total. No caso prático, a redução de consumo energético foi superior a 40% para o cumprimento de todas as normas, atingindo mais de 70% para critérios mais rigorosos de trabalho como NR-15 Pesado, MET 1,77 e MET 2,16. A análise não abrange os critérios da MET 4,92 que, como já explicado anteriormente, não são atendidos pelo método de *spot cooling*.

Figura 7: Gráfico comparativo entre os métodos para o galpão-modelo com 60 pessoas



CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os conceitos referentes ao método de climatização *spot cooling*, seus fundamentos, características e tipos de modelos, bem como os conceitos básicos de conforto térmico e normas nacionais e internacionais que o regulamentam. Expôs o conceito de carga térmica e da psicrometria e como esses fatores incidem sobre o modelo proposto. Descreveu dados climáticos referentes à cidade escolhida e explicou as particularidades desse bioclima.

Para efeito de comparação, foi estudado o método de climatização por volume total e calculada a carga térmica. Durante o cálculo, foram propostas melhorias ao sistema e apresentadas justificativas para tal, como, por exemplo, o efeito de redução de carga propiciado pelo uso de um material isolante no telhado.

Objetivando o cálculo de *spot cooling*, foi criado um programa interativo que permite a inserção de uma tabela climática da cidade a ser pesquisada e os parâmetros envolvidos na *performance* do método. Dessa forma, foi possível encontrar resultados mais precisos.

Foi feita uma análise comparativa entre os dois métodos calculados e especificadas as

melhores faixas de aplicação para cada um. Isso resultou em valores expressivos para o *spot cooling*, como no caso da adequação para a NR-15 Pesado, na qual a faixa de aplicação do método vai de um ocupante até 726, o que demonstra a vasta aplicabilidade do sistema.

Os resultados obtidos nas comparações comprovam a eficiência do *spot cooling* perante o método tradicional. Eles mostram que, em ambientes de grandes volumes e baixas densidades populacionais, a eficiência pode chegar a mais de 70%, como visto no caso do galpão-modelo com 60 pessoas.

AGRADECIMENTOS

Este artigo é uma homenagem ao meu avô Justino Pinheiro, que me apresentou o mundo do ar-condicionado e me ensinou tudo que sabia com muita paciência e carinho.

Gostaria de agradecer também à minha namorada Lígia Rocha, por ter me ajudado durante todo o processo de elaboração do trabalho.

Ao meu professor Alexandre Silva, por ter acreditado no projeto desde o início e possibilitado que hoje ele fosse uma realidade.

REFERÊNCIAS

- ABNT. *NBR 16401*. Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, ABNT, 2017.
- AMERICOOL, LLC. americoolllc, 29 jun. 2019. Disponível em: <https://www.americoolllc.com/data-center-cooling.htm>.
- ASHRAE 55. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. [S.l.]. 2004.
- ASHRAE. *Handbook-Fundamentals*. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- ASHRAE STANDARD 62.1. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. [S.l.]. 2007.
- AZER, N. Z. Design Guidelines for Spot Cooling. *ASHRAE Transactions*, v. 82, 1982.
- BRASIL. IBGE. *Censo demográfico, 2008/2009*. Disponível em: www.ibge.gov.br.
- BRASIL. NR-15. *Norma Regulamentadora 15*. [S.l.]. 2015.
- DALLABRIDA, E. C.; GONÇALVES, C. M.; PIOVESAN, T. R. Análise Comparativa da eficiência energética em lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23., 2015. Ijuí, *Anais...* Ijuí: Unijuí, 2015.
- GOODFELLOW, H. *Industrial Ventilation Design Guidebook*. San Diego: ACADEMIC PRESS, 2001.
- ISO 7730. *Determinação dos índices PMV e PPD*. INTERNATIONAL STANDARD. [S.l.]. 2005.
- KOESTEL, A. A. Computing Temperatures and velocities in vertical jets of hot and cold air. *ASHVE Transactions*, v. 60, p. 385-410, 1954.
- MELIKOV, A. K. *Human response to cooling with jets*. ASHRAE. [S.l.]. 1982.
- ONE STRANGE Rock. Direção: Christopher Riley, Nic Stacey Gramham Booth. [S.l.]: [s.n.]. 2018.
- PINHEIRO, J. *Apostila de Psicrometria*. Rio de Janeiro: IME, 2017, p. 17.
- TYLER, H. University of California Berkeley. *CBE Thermal Comfort Tool*, 2017. Disponível em: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>.

Dados dos autores

Alexandre Silva de Lima (alexandre.silva.lima@cefet-rj.br). Doutor em Engenharia Mecânica, DEMEC - Depto. de Eng. Mecânica, Cefet/RJ

Fábio Pinheiro Ribeiro (fabiopinheioribeiro@gmail.com). Engenheiro Mecânico, Cefet/RJ.

PESQUISA COLABORATIVA PARA MELHORIA DA ACESSIBILIDADE DAS PCD AOS ÔNIBUS

Jerônimo Correia de Morais

Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa

Aida Araújo Ferreira

Amilton da Costa e Silva

Jonathan A. Pereira

Saint-Clair Ramos

RESUMO: Compreender o conceito de pessoa com deficiência (PCD) é o ponto de partida para desenvolver ferramentas tecnológicas, leis ou quaisquer outras iniciativas que venham a oferecer melhores condições de vida a essas pessoas. O objetivo principal deste trabalho é melhorar a acessibilidade de pessoas com deficiência ao transporte público da Região Metropolitana do Recife, coletando informações sobre a utilização das paradas e integrações dos ônibus, suas condições de uso e dificuldades enfrentadas por esses usuários, utilizando um questionário construído na ferramenta colaborativa Survey123, da Plataforma ArcGIS Enterprise, e enviado às PCD cadastradas pela Urbana-PE no Vale Eletrônico Metropolitano (VEM Livre Acesso). Os resultados encontrados até o momento, a partir das respostas recebidas, ainda não são representativos frente à população de PCD que é usuária do VEM Livre Acesso. Isso se deve ao curto espaço de tempo desde sua liberação aos usuários e ao contexto de pandemia.

Palavras-chave: Inclusão. ArcGIS. Painel interativo. Questionário colaborativo.

ABSTRACT: Understanding the concept of people with disabilities (PCD) is the starting point for developing technological tools, laws or any other initiatives that may offer better living conditions for these people. The main objective of this work is to improve the accessibility of people with disabilities to public transport in the Metropolitan Region of Recife, collecting information on the use of bus stops and integrations, their conditions of use and difficulties faced by these users, using a questionnaire built on the collaborative tool Survey123, from the ArcGIS Enterprise Platform and sent to PCD registered by Urbana-PE at Vale Eletrônico Metropolitano (VEM Livre Acesso). The results found so far, based on the responses received, are still not representative of the population of PCD users of VEM Livre Acesso. This is due to the short time since its release to users and the context of the pandemic.

Keywords: Inclusion. ArcGIS. Interactive panel. Collaborative questionnaire.

INTRODUÇÃO

Compreender o conceito de pessoa com deficiência (PCD) é o ponto de partida para desenvolver ferramentas tecnológicas, leis ou quaisquer outras iniciativas que venham a oferecer melhores condições de vida a essas pessoas. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2006)¹, “pessoas com deficiência são aquelas que têm impedimentos de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, os quais, em interações com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade com as demais pessoas”.

De acordo com o último censo realizado, o Brasil possui 45,6 milhões de pessoas que declararam ter algum tipo de deficiência, representando 23,9% da totalidade da população do país naquele ano. Essa população encontrava-se distribuída, em 2010, 84,36% nas áreas urbanas e 15,64% nas zonas rurais (IBGE, 2020)². Em Pernambuco, o censo mostrou uma população total de 8.796.448 de habitantes, com 2.426.106 PCD, IBGE 2020, o que correspondia a 27,58% da população (NUNES; GOMES, 2018)³. Usando a estimativa populacional do IBGE 2020 e mantendo o percentual do Censo 2010, o número de PCD no estado pode ser de 2.652.264, cerca de mais de 200 mil novas PCD.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define acessibilidade, através da norma NBR 9.050, como sendo a “possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia de edificações, espaços, mobiliários, equipamentos urbanos e elementos”.⁴ O Ministério da Saúde apresenta acessibilidade como “incluir a pessoa com deficiência na participação de atividades como o uso de produtos, serviços e informações”.⁵ A Lei Brasileira da Inclusão (LBI), em seu art. 3º, inciso I, descreve o conceito de acessibilidade da seguinte maneira: “possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes, da informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida”.⁶ Ao observar alguns dos impactos gerados pela ausência parcial ou completa de acessibilidade para PCD, é possível pensar que o número de indivíduos afetados seja três vezes maior, pois, para cada indivíduo com deficiência, estima-se pelo menos outras duas pessoas em seu entorno.³

Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) apontam que 65% população que reside nas capitais do Brasil utilizam o transporte público para terem acesso a serviços básicos.⁷ Portanto, propor alternativas que visem à melhoria do serviço ofertado é fundamental para permitir a inclusão social das PCD de maneira eficiente, respeitável e segura.

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) *campus* Recife, em parceria com o Grande Recife Consórcio de Transporte (CTM) e a Agência de Tecnologia da Informação de Pernambuco (ATI), desenvolveu o projeto de pesquisa denominado Plataforma de Inteligência Geográfica – Sigabem, cujo objetivo principal é melhorar a acessibilidade de pessoas com deficiência ao transporte público da Região Metropolitana do Recife. Um dos resultados deste projeto foi a elaboração de um formulário de pesquisa colaborativa (questionário) em ambiente web aplicado às PCD, cuja finalidade é conhecer a rotina de utilização do transporte público, assim como algumas das necessidades inerentes ao uso que pessoas com deficiência enfrentam. Essa parte do projeto Sigabem tem a intenção que coletar dados e informações valiosas que direcionem ações e auxiliem na elaboração de políticas públicas visando à acessibilidade das PCD.

OBJETIVOS

O objetivo do artigo é apresentar a pesquisa colaborativa elaborada e o painel interativo na web construído a partir das respostas enviadas destes questionários. Para realização deste trabalho, foi necessário traçar alguns objetivos específicos, a saber:

- definir os requisitos (perguntas a serem incorporadas) pretendidos nos questionários;
- elaborar o questionário propriamente dito;
- construir o painel interativo (*dashboard*) para apresentação dos dados obtidos.

METODOLOGIA

Para desenvolvimento do questionário, foi utilizado o *software* ArcGIS, mais especificamente a ferramenta colaborativa Survey123, da Plataforma ArcGIS Enterprise, que permite a elaboração de formulários colaborativos previamente formatados, assim como a visualização e

a análise de dados diante das respostas recebidas e a construção de um painel interativo da pesquisa para apresentação dos dados obtidos. O questionário foi enviado às PCD cadastradas pela Urbana-PE no Vale Eletrônico Metropolitano (VEM Livre Acesso) e coletou informações sobre a utilização das paradas e integrações dos ônibus, condições de uso das paradas e dificuldades enfrentadas no uso do transporte por esses usuários. Com o retorno dos questionários, foi criado um banco de dados desses usuários, que pode contribuir na tomada de decisão e na elaboração de políticas públicas de acessibilidade, voltadas às pessoas com deficiência na Região Metropolitana do Recife (RMR).

Abrangência do estudo

O projeto Sigabem atende aos mais de 36.000 usuários (pessoas com deficiência) cadastrados pela Urbana no Vale Eletrônico Metropolitano (VEM Livre Acesso), utilizado para acesso gratuito ao transporte público. A Urbana é o Sindicato das Empresas de Transportes de Passageiros no Estado de Pernambuco. Contudo, as respostas obtidas ainda não são representativas dessa parcela da população, pois o envio foi realizado em maio deste ano. Pretende-se, com o passar dos meses, alcançar maior número de PCD através de outros veículos de comunicação.

Local de desenvolvimento do trabalho

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Geotecnologias e Meio Ambiente (LabGeo), em parceria com o Laboratório de Engenharia e Desenvolvimento de Softwares (Grendes), no *campus* Recife do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE). O projeto também foi desenvolvido em parceria com o Grande Recife Consórcio de Transporte (CTM), responsável pelo controle da frota rodoviária pública da Região Metropolitana do Recife, e com a Agência de Tecnologia da Informação de Pernambuco (ATI).

Definição dos requisitos dos questionários

Várias reuniões foram realizadas com a equipe de técnicos, especialistas de domínio, do Grande Recife Consórcio de Transporte (CTM) para definição dos requisitos do questionário a ser elaborado. Na verdade, o CTM estava procurando conhecer a rotina das PCD que utilizam o transporte público. Uma das dificuldades que o CTM relatou foi o fato de não conhecer as paradas e linhas mais utilizadas por essa parcela da população. Diante disso e de outras demandas dessa empresa, foi construído o questionário.

O processo de escolha das perguntas a serem incluídas no questionário aconteceu com rigoroso controle e observando a Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, dispõe sobre o tratamento de dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa natural ou por pessoa jurídica de direito público ou privado, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural. Na definição dos requisitos do questionário, foram ouvidos representantes de entidades de classes representativas das PCD.

Elaboração do questionário

Para construção do questionário, foi utilizada a ferramenta Survey123 Connect for ArcGIS, dentro do ArcGIS Enterprise. Também foi utilizada a ferramenta Microsoft Office Pro Excel 2016 para formulação das perguntas. Vale ressaltar que, no questionário, há perguntas em que as PCD digitam as informações, perguntas com apenas uma única escolha e perguntas com múltiplas escolhas.

Construção do painel interativo

Para construção do painel interativo e apresentação clara e objetiva dos dados coletados através dos questionários, foi utilizado o Operations Dashboard, ferramenta também disponível no ArcGIS Enterprise. Essa ferramenta se utiliza de mapas, gráficos e outros elementos visuais para exibir os dados recebidos do questionário. Integrado ao Survey123, os dados são atualizados em tempo real e, a partir deles, é possível executar ações (análises) com filtros pré-configurados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram elaborados dois grupos de perguntas a serem incluídas nos questionários: dados pessoais das PCD e dados relativos à interação das PCD, com os ônibus da RMR, em sua rotina de utilização desse transporte público. Isto inclui perguntas sobre as condições dos ônibus, as linhas e as paradas dos ônibus que eles utilizam.

O primeiro grupo destina-se a coletar informações que identifiquem se, de fato, aquela resposta está atrelada a uma PCD que possui um cartão VEM Livre Acesso. O início do questionário solicita o CPF, CEP da residência e tipo de deficiência (Fig. 1), sendo todas obrigatórias.

Figura 1: Perguntas iniciais do formulário de pesquisa colaborativa na web

Qual o tipo de deficiência?*
Escolha uma das opções abaixo.

Por favor, digite o seu CPF.*
Digite apenas os números.

Por favor, digite o CEP da sua residência.
Digite apenas os números.

Auditiva

Física

Intelectual

Múltipla

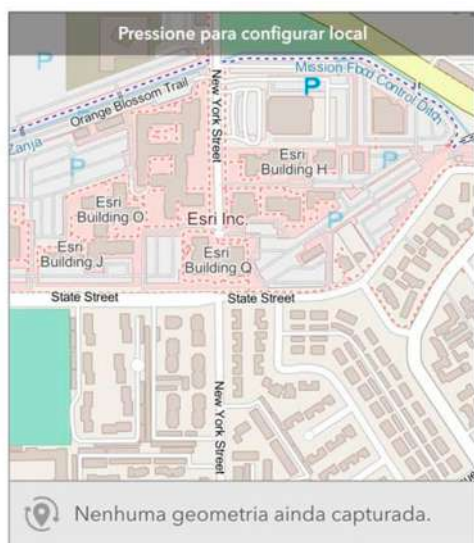
Visual

O segundo grupo trata situações vividas pelas PCD no trajeto escolhido. Perguntas sobre a parada que mais utiliza (Fig. 2), as condições de acessibilidade da parada mais utilizada (Fig. 3), a utilização de Terminais Integrados (TI) (Fig. 4) e as experiências vivenciadas durante o trajeto dentro do ônibus (Fig. 5), são exemplos que constam no instrumento desenvolvido pela equipe.

Figura 2: Parada que mais utiliza

Localize a parada de ônibus que mais utiliza.*

É possível fazer isso pesquisando por endereço ou clicando no símbolo de captura por GPS. Para enxergar as paradas, clique no sinal + para ampliar o mapa.



A ideia de conhecer a parada mais utilizada pela PCD é usar essa informação para auxiliar no direcionamento de recursos de refor-

ma e/ou adaptações necessárias às paradas, de modo que possibilitem aumentar, se já existir, ou construir estruturas de acessibilidade. Nesse tipo de pergunta, é possível digitar o endereço da parada ou de algum ponto próximo e fazer a marcação exata, ou utilizar a localização do *smartphone* para essa marcação.

Figura 3: Condições de acessibilidade

Quais as condições de acessibilidade da parada que você mais utiliza?

Responda SIM ou NÃO para cada um dos itens.

	SIM	NÃO
Possui rampa de acesso?*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Possui Wi-Fi?*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Possui calçadas?*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Possui teto?*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Possui bancos para as pessoas sentarem?*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Nessa pergunta, o usuário aponta os itens de acessibilidade a que tem acesso na parada que mais utiliza em seu dia a dia. É uma pergunta obrigatória e que permite apenas uma resposta para cada um dos cinco itens listados. A pessoa que está respondendo também é consultada quanto ao número de utilizações diárias dos ônibus.

Figura 4: Integrações que utiliza

Utiliza algum Terminal Integrado (Integrações)?*

Utiliza algum Terminal Integrado (Integrações)?

SIM NÃO

Marque as integrações que utiliza.*

Pode marcar mais de uma alternativa, se for necessário.

<input type="checkbox"/> TI ABREU E LIMA	<input type="checkbox"/> TI AEROPORTO	<input type="checkbox"/> TI AFOGADOS
<input type="checkbox"/> TI BARRO	<input type="checkbox"/> TI CAMARAGIBE	<input type="checkbox"/> TI CABO
<input type="checkbox"/> TI CAJUEIRO	<input type="checkbox"/> TI CAVALEIRO	<input type="checkbox"/> TI CAXANGÁ
<input type="checkbox"/> TI CDU	<input type="checkbox"/> TI COSME E DAMIÃO	<input type="checkbox"/> TI GETÚLIO VARGAS

Conhecer as integrações utilizadas pelas PCD também é uma demanda muito importante dentro desse projeto, pois muitas delas necessitam de melhorias e/ou adaptações para aumentar a acessibilidade e, por essa razão, essa pergunta foi incluída no questionário. Ao marcar a resposta “sim”, abre-se a lista de todos os terminais integrados (TI) disponíveis na RMR e a PCD pode escolher aquele ou aqueles de que ela faz uso, seja com mais, seja com menos frequência. Se não há utilização de TI, a caixa com os nomes não fica disponível e a pessoa deve seguir para a próxima pergunta que consta no questionário.

Liste abaixo os itens que presencia no seu trajeto diário:

Queima de parada

Excesso de lotação

Falta de urbanidade

Partida brusca

Freada brusca

Figura 5: Pergunta referente às experiências vivenciadas durante o trajeto

A fim de propiciar aos agentes envolvidos na construção do trabalho uma maneira mais clara e dinâmica de visualizar os dados obtidos, foi criado um painel de controle interativo que demonstra, através de gráficos, números e mapa a maneira como estão distribuídos os resultados das respostas que foram enviadas pelas PCD nesta fase inicial de coleta.

Figura 6: Painel de controle interativo (*dashboard*) apresenta alguns dados das PCD e possibilita uma leitura mais clara dos dados



O gráfico de pizza apresenta, em percentual, os tipos de deficiências dos PCD que responderam ao questionário – auditiva [15,25%], física [57,63%], intelectual [15,25%], múltipla [1,69%] e visual [10,67%] (Fig. 7). O mapa (Fig. 8) apresenta a parada indicada pelas PCD, através do georreferenciamento que foi feito ArcGIS. O número de utili-

zações de ônibus que cada PCD faz diariamente é apresentado no painel de controle, onde vemos diversas cores apresentadas, e, por fim, a quantidade de respostas “SIM” ou “NÃO” que foram dadas sobre a utilização dos terminais integrados que estão distribuídos nas diversas cidades que compõem a Região Metropolitana do Recife (Fig. 9).

Figura 7: Painel de controle interativo (dashboard)

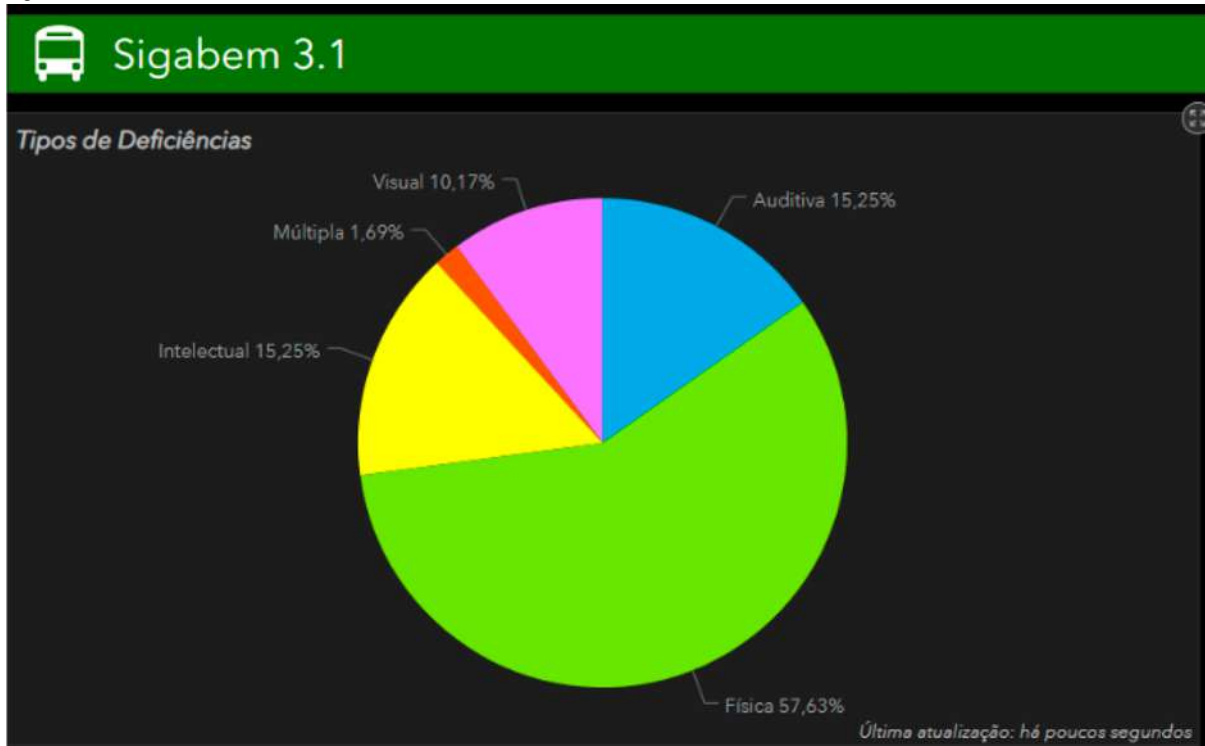
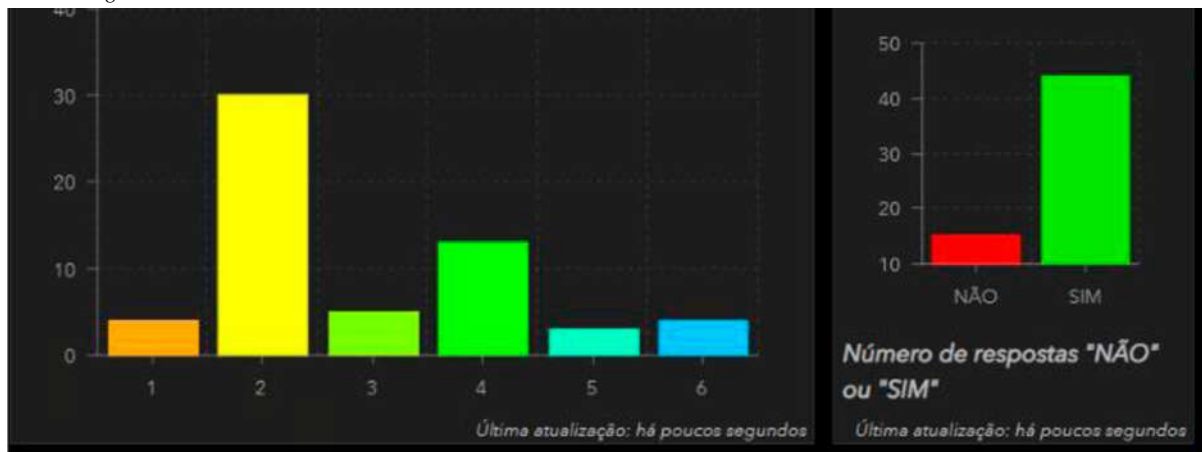


Figura 8: Painel de controle interativo (dashboard)



Figura 9: Painel de controle interativo (*dashboard*)



CONCLUSÕES

Os resultados encontrados até o momento, a partir das respostas recebidas, ainda não são representativos frente à população de PCD que é usuária do VEM Livre Acesso. Isso se deve ao curto espaço de tempo desde sua liberação aos usuários e ao contexto da pandemia, que acabou prejudicando fortemente a possibilidade de divulgação de maneira mais efetiva dos questionários desenvolvidos neste trabalho.

A distribuição dos questionários continuará a acontecer nos próximos meses, utilizando mais canais de comunicação com os usuários, para que cada vez mais pessoas com deficiência(s) participem, respondendo e, com isso, aumentem o engajamento no projeto. Espera-se, assim, acelerar a produção de respostas para os usuários dos ônibus da Região Metropolitana do Recife, por parte dos gestores públicos.

A utilização da tecnologia como promotora de inserção social das PCD é ponto fundamental na luta pela garantia da igualdade dos direitos civis dessas pessoas. Quanto maior o número de dados produzidos pelos usuários, maior a possibilidade de os gestores públicos conhecerem a realidade enfrentada pelas PCD, podendo trabalhar em ações simples, como a inclusão de mais veículos numa determinada linha, deslocamento de uma determinada parada de ônibus, mudança de itinerário e horário de circulação de veículos, entre outros. A ideia é que esses dados, quando bem representativos e analisados, possam trazer retorno aos que colaboraram efetivamente com o projeto.

Conhecer a realidade enfrentada é ponto de partida para a acessibilidade ao transporte por parte das PCD e fazer uso da tecnologia utilizando uma ferramenta colaborativa como esta é, sem dúvida, o caminho mais curto para diminuir a distância entre os usuários (produtores de dados) e os gestores públicos (consumidores de dados). A elaboração dessa ferramenta interativa e inclusiva, pelo menos em relação aos ônibus da RMR, é uma ação fundamental para essa parcela da população.

Espera-se, ainda, que mais estudos e ações direcionadas para as PCD sejam produzidas, em conjunto, quando possível, por instituições de ensino superior, associações de PCD, famílias de pessoas com PCD e gestores públicos, no nível municipal, estadual e / ou federal. Afinal, trazer luz para as questões que afetam direta e indiretamente o dia a dia dessa parcela da população é a única maneira de minimizar os impactos negativos que sua(s) deficiência(s) já lhes impõem.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao IFPE, pela concessão da bolsa de extensão para que o estudante pudesse se dedicar à construção deste e de outros artigos que foram e que estão sendo produzidos no laboratório do Centro de Pesquisa; ao CTM e à ATI, pela parceria muito bem-sucedida, para construção desse projeto que possui uma relevância significativa na vida das PCD; e, principalmente, participação fundamental das pessoas com deficiência (principais *stakeholders*) que, direta e indiretamente, contribuíram e continuarão a contribuir para o desenvolvimento do projeto Sigabem.

REFERÊNCIAS

- [1] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Protocolo, 13 dez. 2006. *Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência: Protocolo Facultativo à Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência*, [S. l.], 13 dez. 2006. Disponível em: <https://bit.ly/37nXs8E>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- [2] IBGE. Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2020. *Censo 2010*. Acesso em: 15 ago. 2020.
- [3] NUNES, T.; GOMES, L. *Relatório parcial da Frente Parlamentar em defesa da pessoa com deficiência*. Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco, 2018. Acesso em: 17 ago. 2020.
- [4] ABNT. *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. NBR 9050, 2004. Acesso em: 20 ago. 2020.
- [5] MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Acessibilidade. In: *Acessibilidade*. [S. l.], 31 ago. 2017. Disponível em: <http://www.saude.gov.br/acessibilidade#:~:text=O%20termo%20acessibilidade%20significa%20incluir,e%20banheiros%20adaptados%20para%20deficientes>. Acesso em: 18 ago. 2020.
- [6] BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência: Estatuto da Pessoa com Deficiência. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 14 ago. 2020.
- [7] ESTUDO do Ipea mostra que 65% da população usam transporte público nas capitais. *Agência Brasil*, Brasília, 4 maio 2011. Disponível em: <http://memoria.etc.com.br/agenciabrasil/noticia/2011-05-04/estudo-do-ipea-mostra-que-65-da-populacao-usam-transporte-publico-nas-capitais>. Acesso em: 15: ago. 2020.

Dados dos autores

Aida Araújo Ferreira (aidaferreira@recife.ifpe.edu.br). Doutorado em Ciência da Computação, professora titular do IFPE campus Recife.

Amilton Luiz da Costa e Silva (alcs@cesar.schoo). Mestrando em Engenharia de Software - Cesar School, Graduado em análise e desenvolvimento de sistemas pelo IFPE. Gestor de TI no Grande Recife consócio de transporte. Grande Recife - Cais de Santa Rita.

Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa (ionarameh@recife.ifpe.edu.br). Doutorado em Eng. Civil. Profa Titular do IFPE campus Recife.

Jerônimo Correia de Moraes (jcm@a.recife.ifpe.edu.br). Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Bolsista no Instituto Federal de Pernambuco – campus Recife, Recife.

Jonathan Romualdo Santos Araujo Pereira (romualdojonathan7@gmail.com). Graduado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Desenvolvedor de Software na Percent Software, Av. Agamenon Magalhães, 2847, Espinheiro, Recife

PROTÓTIPOS À BASE DE ARDUINO PARA MONITORAMENTO DE MEDICAMENTOS TERMOLÁBEIS

Wallice Medeiros de Souza

Igor Leão dos Santos

Camila Ganeff Ribeiro Moraes

Letícia Ali Figueiredo Ferreira

Eyko Medeiros Rios

Vanessa Aparecida de Sá Machado

RESUMO: Medicamentos termolábeis são aqueles que são sensíveis às variações de temperatura. O seu armazenamento deve ser feito em local refrigerado e de acordo com as instruções específicas de cada fabricante, já que uma grande variação de temperatura pode prejudicar a sua eficiência. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar cinco diferentes protótipos de monitoramento de temperatura no armazenamento de medicamentos termolábeis na cadeia de frio e avaliá-los em termos de consumo de energia e custo. Visando realizar isso, foi utilizado um *software on-line* e gratuito, chamado Tinkercad, uma plataforma eletrônica de códigos abertos e interativos que representa o Arduino físico virtualmente. Além disso, após a execução de cada protótipo, os resultados foram pautados em função do custo e da quantidade de peças. Foi avaliado o custo total de cada protótipo com base no custo de montagem e no consumo de energia, conforme simulação da Enel-RJ, e o melhor modelo foi escolhido.

Palavras-chave: Protótipo. Monitoramento. Medicamentos termolábeis. Arduino.

ABSTRACT: Thermolabile drugs are sensitive to temperature variations. Its storage must be done in a refrigerated place and according to the specific instructions of each manufacture, since a large temperature variation can affect the efficiency. Within this context, the objective of this work is to present five different temperature monitoring prototypes in the storage of thermolabile medicines in cold chain and evaluate them in terms of energy consumption and cost. Aiming to accomplish this, an online and free software was used, called Tinkercad, an electronic platform of open and interactive codes, that represents the physical Arduino virtually. In addition, after the execution of each prototype, the results were based on the cost and quantity of components. The total cost of each prototype was evaluated based on the cost of mounting and energy consumption, according to a simulation by ENEL-RJ, and the best model was chosen.

Keywords: Prototype. Monitoring. Thermolabile drug. Arduino.

INTRODUÇÃO

Medicamento é todo produto farmacêutico, tecnicamente obtido ou elaborado, com finalidade profilática, curativa, paliativa ou para fins de diagnóstico (ANVISA, 2017). Entre os grupos de medicamentos, existem os chamados termolábeis, que são aqueles que são sensíveis a variações de temperatura. Dentro desse grupo, estão incluídos medicamentos como a insulina e os imunobiológicos. Os imunobiológicos, que compreendem os soros, vacinas e imunoglobulinas, são capazes de proteger e reduzir a severidade ou combater doenças específicas e agravos (MINISTÉRIO DA SAÚDE; AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2019).

Por conta disso, seu armazenamento deve ser feito em local refrigerado e de acordo com instruções específicas do fabricante e com as demais exigências da legislação vigente. O processo de armazenagem é uma etapa da cadeia logística de medicamentos e é definido como sendo a guarda, a localização, a segurança e a preservação de medicamentos adquiridos, produzidos e movimentados por uma organização, de acordo com suas características e sua natureza de conservação (MEDINA, 2017).

A complexa cadeia logística relacionada a um medicamento vai desde a sua produção em fábrica, passando por sua distribuição e chegando ao consumidor final, através de farmácias, clínicas de vacinação, laboratórios, hospitais, dentre outros. Na logística farmacêutica, inúmeros problemas podem ser evitados ao serem aplicados procedimentos corretos de aquisição, armazenamento, transporte e controle de qualidade dos medicamentos, evitando, com isso, gerar inconformidades nos produtos (MEDINA, 2017; RAGLIONE *et al.*, 2016).

À medida que a Indústria Farmacêutica evolui, a logística dos medicamentos e vacinas também segue evoluindo, por serem produtos com vital importância e com alto valor agregado. O Programa Nacional de Imunizações (PNI) tem como objetivo erradicar ou manter sob controle todas as doenças possíveis por meio de vacinas. Para isso, foi criada a chamada Rede ou Cadeia de Frio, que consiste no processo de armazenamento, conservação, manipulação, distribuição e transporte dos imunobiológicos do PNI (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2003; 2017).

A cadeia de frio é definida como um grupo de métodos utilizados para conservação dos medicamentos, desde o local onde são produzidos até a administração do fármaco. Essa cadeia

deve garantir uma temperatura entre 2 e 8 graus Celsius durante os processos de transporte, armazenamento e distribuição de medicamentos (SILVA *et al.*, 2012). A rede de frio do Brasil interliga os municípios brasileiros em uma complexa rede de armazenamento, distribuição e manutenção de vacinas em temperaturas adequadas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2003).

A estabilidade de um medicamento é a propriedade de um produto em preservar as mesmas características físicas e químicas durante seu período de vida útil. Alguns fatores que podem ser controlados podem interferir na estabilidade dos medicamentos termolábeis, sendo a temperatura a maior responsável por alterações e deteriorações de medicamentos. É essencial que esses produtos permaneçam em temperatura adequada desde sua produção até seu uso (MEDINA, 2017; RAGLIONE *et al.*, 2016; RAPKIEWICZ; GROBE, 2014).

Os estabelecimentos que exerçam as atividades de distribuição, armazenagem e transporte de medicamentos devem dispor de monitoramento e controle de temperatura e umidade, a depender da atividade desempenhada e do produto a ser manuseado (ANVISA, 2017). As regras de temperatura também existem para a área externa ao refrigerador que armazena os medicamentos, a temperatura deverá ser de até 30°C (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2016).

O monitoramento da temperatura do local em que ficam armazenados esses medicamentos deve ser contínuo, já que variações muito grandes podem, por exemplo, aumentar excessivamente a viscosidade de preparações líquidas, causar desnaturação e prejudicar a estabilidade em alguns fármacos (RAPKIEWICZ; GROBE, 2014).

Tendo isso em vista, o objetivo do presente trabalho é apresentar cinco diferentes protótipos de monitoramento de temperatura no armazenamento de medicamentos termolábeis na cadeia de frio e avaliá-los em termos de consumo de energia e custo. Para isso, foi utilizado o *software* Tinkercad – Arduino *on-line*. O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto de projetos interativos, com placas que são capazes de ler entradas – luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem no Twitter – e transformá-lo em uma saída – ativando um motor, ligando um LED, publicando algo *on-line*, por exemplo (ARDUINO, 2019).

O Tinkercad é uma ferramenta para criar projetos digitais. Entre os fatores que motivaram

a escolha desse *software*, estão a facilidade de utilização para iniciantes com complexidade suficiente para o desenvolvimento do trabalho em questão, o fato de o *software* ser compatível com diversos sistemas operacionais, tais como Mac, Windows e Linux, e também de ser um *software* gratuito e *on-line*, o que facilita o acesso (MICROSOFT, 2019).

METODOLOGIA

A abordagem metodológica para execução deste trabalho ocorreu em 4 etapas principais: Primeiramente, foi elaborado um cenário inserido no âmbito da saúde. Após isso, houve a determinação das métricas para avaliação da simulação proposta baseado no método Goal-Question-Metric (GQM). Em seguida, houve a elaboração das propostas de simulação de redes de sensores de temperatura sem fio aplicadas ao cenário proposto. E, para isso, foi utilizado o *software* Tinkercad – Arduino *On-line*. E concluiu-se o trabalho realizando-se a avaliação e a análise das métricas estabelecidas.

Cenário geral

O Sistema Único de Saúde (SUS) gasta cerca de R\$ 7,1 bilhões por ano para comprar remédios de alto custo para a população, alguns deles pertencentes à categoria de medicamentos termolábeis. Porém, atualmente, existe uma grande perda, que chega a R\$ 16 milhões. Dentre os motivos que levam a essa perda, está a armazenagem feita em temperaturas inadequadas (CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO, 2017). Ao se criar um sistema de controle e monitoramento mais eficaz dessa temperatura, é possível evitar perdas desse tipo de medicamento, economizando recursos públicos.

Atualmente, o armazenamento de medicamentos é feito de maneira ineficiente pelos estados, observaram-se inadequações no armazenamento de pelo menos um medicamento em 36% dos estados do Brasil, segundo levantamento da Controladoria-Geral da União (2017). Isso demonstra que esse é um problema existente em todo o país, de maneira que o presente trabalho ganha maior relevância ao tentar tornar esse processo mais eficiente.

Nesse contexto, foi determinado um cenário de funcionamento simplificado. Definiu-se uma sala de imunização composta por seis refrigeradores, responsáveis por armazenar as vacinas recebidas pela cadeia de frio. O monitoramento e o controle dessa temperatura devem

ser realizados, preferencialmente, por meio de sistemas de supervisão informatizados, e é recomendável que os instrumentos utilizados disponham de alarmes visuais e/ou sonoros capazes de sinalizar excursões fora das faixas de aceitação (MINISTÉRIO DA SAÚDE; AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2019).

Cada geladeira deve se manter na temperatura entre 2 e 8 graus Celsius, conforme legislação, sendo o ideal a permanência em 5 graus Celsius (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). O monitoramento dessa temperatura deve ser feito de maneira contínua, de forma que qualquer variação seja identificada e haja o mínimo de perdas possível. Dessa forma, foram simulados cinco tipos de cenários diferentes, cada um com uma configuração de protótipo diferente a fim de que sejam feitos o monitoramento e o controle da temperatura, para que se avalie qual deles é mais adequado.

Métricas

O GQM é um método para coletar dados onde são definidos objetivos a serem alcançados, questões relativas a esses objetivos e as métricas que serão utilizadas para se analisar se o objetivo foi atingido. Foi originalmente desenvolvido e utilizado em um conjunto de projetos na NASA/GSFC, mas tem sido usado para inúmeros tipos de projetos e empresas, como IBM, HP e Nokia (BASILLI, 1992; BOYD, 2005). O Modelo do GQM apresenta três níveis, o primeiro deles é o nível conceitual, onde são definidos os objetivos, com uma visão geral de todo o processo. O segundo nível é o operacional, em que são definidas as questões que serão refinadas nas métricas. O terceiro e último nível é o quantitativo, em que são definidas as métricas que serão usadas para avaliar determinado parâmetro do processo (RAINHO; BARREIROS, 2019).

A partir da abordagem fornecida pelo GQM, foi determinado o objetivo da análise, que seria: “Analisar uma rede de sensores sem fio (RSSF) para monitoramento de um ambiente termossensível de armazenamento de vacinas”. Com base nesse objetivo, busca-se entender quais as possibilidades de estruturação do sistema de redes de sensores sem fio nos seis refrigeradores presentes na sala de vacinação, a fim de que seja alcançada a eficiência máxima do sistema. O objetivo, então, foi desdobrado em uma questão principal: “Como tornar o sistema mais eficiente?”.

A questão busca analisar as possibilidades a fim de se construir opções de configurações em que a eficiência esperada fosse alcançada. Para isso, a questão principal foi desdobrada em duas métricas (Quadro 1):

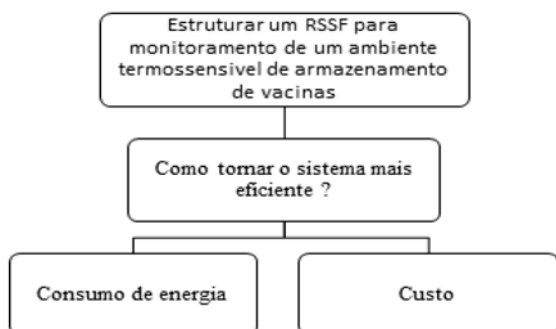
Quadro 1: Métricas

Métrica	Definição	Fórmula
Consumo de energia	Quantidade de energia gasta em cada configuração de protótipos	Quantidade de energia consumida em cada protótipo x Quantidade de protótipos necessária para cada configuração
Custo	Custo do material necessário para cada configuração de protótipos	Custo de cada protótipo x Quantidade de protótipos necessária para cada configuração

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

A árvore GQM com a representação do objetivo, questões e métricas está representada na Fig.1 a seguir:

Figura 1: Árvore GQM



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

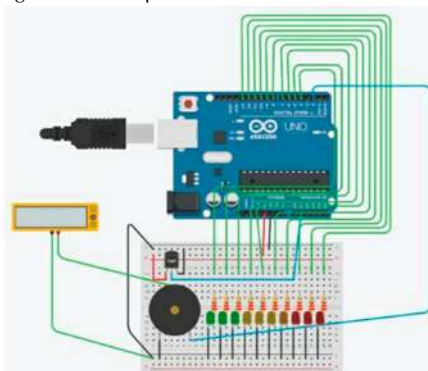
RESULTADOS

Códigos e protótipos

Foram produzidos cinco protótipos para analisar a viabilidade de cada modelo, com o intuito de um retorno positivo considerando os custos, o consumo de energia e a capacidade de armazenamento de forma individual. Para as linhas de códigos, foi definido o sensor de temperatura TMP36 para uma entrada analógica, o Buzzer (alarme) para uma das entradas/saídas digitais e LEDs também em entradas/saídas digitais, para o protótipo 1 (P1). A diferença para os outros protótipos (P2, P3, P4 e P5) é a inclusão de um *display* LCD, mais sensores TMP36 e reduções nos LEDs. A variação de cada protótipo pode ser analisada nas Figuras 1 a 5.

No protótipo 1, a temperatura inicial, mínima, é de 2°C, e, quando esta é atingida, o primeiro LED verde é aceso. Conforme a temperatura vai aumentando gradativamente, os LEDs seguintes vão acendendo até atingir a temperatura máxima (8,5°C), quando o alarme também é acionado. A Fig. 2 representa o protótipo P1.

Figura 2: Protótipo 1



Fonte: Elaborada pelos autores através do *software* Tinkercad (2019)

A faixa de temperatura que faz cada LED acender é representada pela Tabela 1.

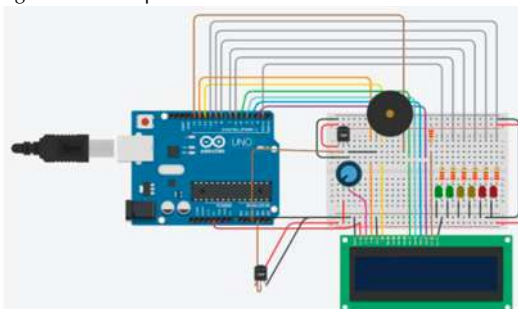
Tabela 1: Configuração dos LEDs do protótipo 1

LED	Temperatura (°C)	LED	Temperatura (°C)
• 0	≥ 2.00	• 5	≥ 6.50
• 1	≥ 3.00	• 6	≥ 7.00
• 2	≥ 4.00	• 7	≥ 7.50
• 3	≥ 5.00	• 8	≥ 8.00
• 4	≥ 6.00	• 9	≥ 8.50

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

O protótipo P2 tem conceitos parecidos com o primeiro, entretanto, este controla a temperatura externa e interna. P2 é composto por quatro LEDs a menos em relação ao P1 e o valor exato das temperaturas é exposto por meio de um *display*. A Figura 3, a seguir, representa o segundo protótipo.

Figura 3: Protótipo 2



Fonte: Elaborada pelos autores através do *software* Tinkercad (2019)

A faixa de temperatura que faz cada LED acender é representada pela Tabela 2:

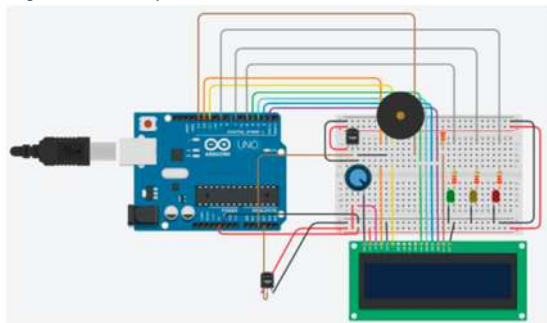
Tabela 2: Configuração dos LEDs do protótipo 2

LED	Temperatura (°C)	LED	Temperatura (°C)
• 0	≥ 2.00	• 3	≥ 7.50
• 1	≥ 5.00	• 4	≥ 8.00
• 2	≥ 6.00	• 5	≥ 8.50

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

O protótipo P3 nada mais é que um modelo adaptado em relação ao segundo, ao invés da utilização de seis LEDs é composto por três LEDs, sendo um verde: faixa de temperaturas ótimas; um amarelo: faixa de temperaturas aceitáveis, porém com um teor de atenção; e um vermelho: para temperaturas excedentes às aceitáveis, conforme a Figura 4.

Figura 4: Protótipo 3



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

O acionamento de cada LED, para uma determinada temperatura, está definido pela Tabela 3.

Tabela 3: Configuração dos LEDs do protótipo 3

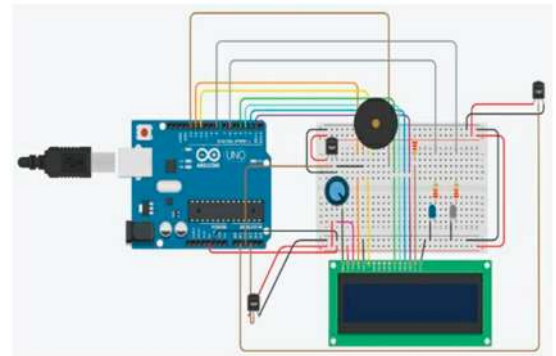
LED	Temperatura (°C)
• 0	≥ 2.00
• 1	≥ 7.00
• 2	≥ 8.50

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

O protótipo P4 tem o intuito de exigir um esforço maior sobre um modelo. Esse protótipo analisa as temperaturas internas de duas geladeiras e a temperatura externa no mesmo circuito. A diferença em relação aos outros é que nele é medida a temperatura de duas geladeiras, com a utilização de mais um sensor; e os LEDs não têm mais o intuito de “faixa gradativa de temperatura”. O LED azul e o cinza são definidos cada um para uma determinada geladeira. Quando alguma das temperaturas chegar a 8,5°C ou exceder essa temperatura, ele é aceso e o alarme

acionado. Com o LED aceso, pode-se saber qual das geladeiras apresenta um problema. O protótipo 4 é representado pela Figura 5.

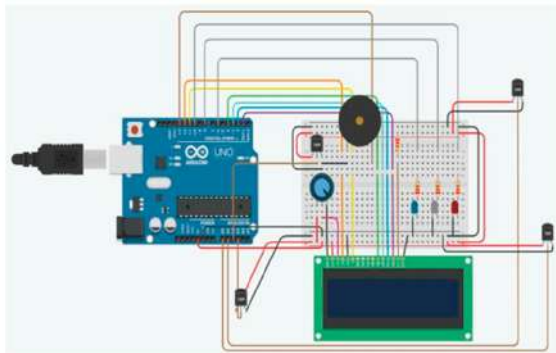
Figura 5: Protótipo 4



Fonte: Elaborada pelos autores através do software Tinkercad (2019)

A adaptação do código em relação aos outros é que neste há a inclusão de mais um sensor de temperatura *TMP36* e mais algumas linhas de código para a inclusão de dados recebidos por esse sensor, para serem lidas dentro do *display LCD*. Já o protótipo P5 é praticamente igual ao quarto protótipo (P4), porém com uma exigência ainda maior. A análise é feita para temperaturas internas de três geladeiras e a temperatura externa do circuito, conforme a Figura 6 abaixo. Dentro do código, há a inclusão de mais um sensor *TMP36*, chegando ao total de quatro sensores, um LED referente a mais uma geladeira e algumas linhas de código para a inclusão no *display LCD*.

Figura 6: Protótipo 5



Fonte: Elaborada pelos autores através do software Tinkercad (2019)

Análise das métricas – custos

É possível estimar o custo de montagem dos protótipos P1 a P5 levando em consideração a relação de componentes necessários, suas quantidades e seus custos de aquisição para cada protótipo. A Tabela 4 tem os custos do protótipo 1.

Tabela 4: Custos relativos ao protótipo 1 (P1)

P1 – Medidor de temperatura interna com 10 LEDs				
Peça	Qtd.	Custo unitário	Custo total	
Placa de Arduino Uno R3 com cabo USB A/B	6	R\$ 54,90	R\$	329,40
Protoboard de 830 pontos	6	R\$ 23,90	R\$	143,40
Buzzer ativo 5V	6	R\$ 2,50	R\$	15,00
LED difuso 5mm (vermelho, verde, amarelo)	60	R\$ 0,15	R\$	9,00
Resistores de 220 ohms	60	R\$ 0,15	R\$	9,00
Sensor de temperatura LM35	6	R\$ 5,90	R\$	35,40
Jumpers macho/fêmea 20cm (fios de conexão)	20	R\$ 0,50	R\$	9,90
Multímetro	1	R\$ 49,90	R\$	49,90
			Total	R\$ 601,00

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

P2 também considera um medidor individual para cada geladeira. Porém, seu monitoramento é menos estrito e detecta menos variação de temperatura, tendo apenas seis LEDs para controle visual das faixas de temperatura. Entretanto, esse protótipo conta com um *display* para apresentação da temperatura interna em tempo real, de maneira a auxiliar na coleta de dados de temperatura durante o dia. Além disso, ainda há a inclusão de um novo sensor para monitoramento da temperatura externa da geladeira, para um controle mais extenso e a prevenção de choques térmicos que possam afetar a eficácia da vacina. A Tab. 5 apresenta a relação de componentes de P2, bem como seus respectivos valores.

Tabela 5: Custos relativos ao protótipo 2 (P2)

P2 – Medidor de temperatura interna e externa com 6 LEDs				
Peça	Qtd.	Custo unitário	Custo total	
Placa de Arduino Uno R3	6	R\$ 54,90	R\$	329,40
Protoboard de 830 pontos	6	R\$ 23,90	R\$	143,40
Buzzer ativo 5V	6	R\$ 2,50	R\$	15,00
LED difuso 5mm (vermelho, verde, amarelo)	36	R\$ 0,15	R\$	5,40
Resistores de 220 ohms	42	R\$ 0,15	R\$	6,30
Sensor de temperatura TMP36	12	R\$ 5,90	R\$	70,80
Display LCD 16x2 com <i>backlight</i> azul	6	R\$ 19,90	R\$	119,40
Jumpers macho/fêmea 20cm (fios de conexão)	20	R\$ 0,50	R\$	9,90
Potenciômetro linear 10KΩ	6	R\$ 1,90	R\$	11,40
			Total	R\$ 711,00

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

P3 também realiza o monitoramento individual de cada geladeira de armazenamento e sua temperatura externa, porém há uma diminuição no número de LEDs. A Tab. 6 apresenta a relação de componentes de P3, bem como seus respectivos valores.

Tabela 6: Custos relativos ao protótipo 3 (P3)

P3 – Medidor de temperatura interna e externa com 3 LEDs				
Peça	Qtd.	Custo unitário		Custo total
Placa de Arduino Uno R3	6	R\$	54,90	R\$ 329,40
<i>Protoboard</i> de 830 pontos	6	R\$	23,90	R\$ 143,40
<i>Buzzer</i> ativo 5V	6	R\$	2,50	R\$ 15,00
LED difuso 5mm (vermelho, verde, amarelo)	18	R\$	0,15	R\$ 2,70
Resistores de 220 ohms	24	R\$	0,15	R\$ 3,60
Sensor de temperatura TMP36	12	R\$	5,90	R\$ 70,80
<i>Display</i> LCD 16x2 com <i>backlight</i> azul	6	R\$	19,90	R\$ 119,40
<i>Jumpers</i> macho/fêmea 20cm (Fios de conexão)	20	R\$	0,50	R\$ 9,90
Potenciômetro linear 10KΩ	6	R\$	1,90	R\$ 11,40
Total				R\$ 705,60

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

P4 realiza o monitoramento simultâneo de duas geladeiras, além de monitorar a temperatura externa, contando, assim, com três sensores de temperatura. A Tab. 7 apresenta a relação de componentes de P4, bem como seus respectivos valores.

Tabela 7: Custos relativos ao protótipo 4 (P4)

P4 – Medidor de temperatura interna para 2 geladeiras e temperatura externa com 2 LEDs				
Peça	Qtd.	Custo unitário		Custo total
Placa de Arduino Uno R3	3	R\$	54,90	R\$ 164,70
<i>Protoboard</i> de 830 pontos	3	R\$	23,90	R\$ 71,70
<i>Buzzer</i> ativo 5V	3	R\$	2,50	R\$ 7,50
LED difuso 5mm (vermelho, verde, amarelo)	6	R\$	0,15	R\$ 0,90
Resistores de 220 ohms	12	R\$	0,15	R\$ 1,80
Sensor de temperatura TMP36	9	R\$	5,90	R\$ 53,10
<i>Display</i> LCD 16x2 com <i>backlight</i> azul	3	R\$	19,90	R\$ 59,70
<i>Jumpers</i> macho/fêmea 20cm (Fios de conexão)	20	R\$	0,50	R\$ 9,90
Potenciômetro linear 10KΩ	3	R\$	1,90	R\$ 5,70
Total				R\$ 375,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

O protótipo P5 realiza o monitoramento simultâneo de três geladeiras e da temperatura externa do ambiente. Os LEDs indicam qual geladeira está fora do intervalo de temperatura, caso haja necessidade. A Tab. 8 apresenta a relação de componentes de P5 bem como seus respectivos valores.

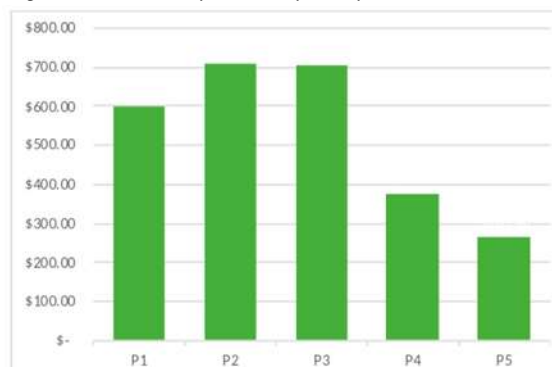
Tabela 8: Custos relativos ao protótipo 5 (P5)

P5 – Medidor de temperatura interna para 3 geladeiras e temperatura externa com 3 LEDs				
Peça	Qtd.	Custo unitário	Custo total	
Placa de Arduino Uno R3	2	R\$ 54,90	R\$ 109,80	
Protoboard de 830 pontos	2	R\$ 23,90	R\$ 47,80	
Buzzer ativo 5V	2	R\$ 2,50	R\$ 5,00	
LED difuso 5mm (vermelho, verde, amarelo)	6	R\$ 0,15	R\$ 0,90	
Resistores de 220 ohms	8	R\$ 0,15	R\$ 1,20	
Sensor de temperatura TMP36	8	R\$ 5,90	R\$ 47,20	
Display LCD 16x2 com backlight azul	2	R\$ 19,90	R\$ 39,80	
Jumpers macho/fêmea 20cm (fios de conexão)	20	R\$ 0,50	R\$ 9,90	
Potenciômetro linear 10KΩ	2	R\$ 1,90	R\$ 3,80	
Total			R\$ 265,40	

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

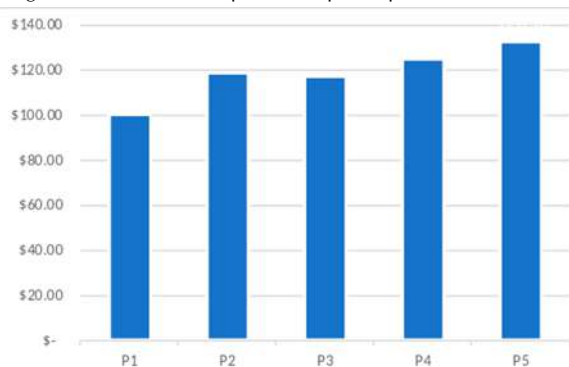
As figuras 7 e 8 a seguir apresentam os valores totais e unitários, respectivamente, de montagem para os protótipos P1, P2, P3, P4 e P5. É possível notar que os protótipos P2 e P3 possuem um custo similar tanto em sua totalidade, quanto para a unidade. Isso se deve à similaridade entre eles, sendo que sua única divergência é a quantidade de LEDs, que possui um valor relativamente baixo no mercado.

Figura 7: Custo total para cada protótipo



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 8: Custo unitário para cada protótipo



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Entretanto, enquanto P2 possui o menor custo para monitoramento do cenário, ele também apresenta o maior custo individual por protótipo. Isso se dá ao fato de que, para monitoramento total, ele requer a menor quantidade de unidades (apenas duas), uma vez que pode monitorar três geladeiras de armazenamento ao mesmo tempo. Dentre os protótipos de monitoramento individual (P1, P2 e P3), P1 possui o menor custo de montagem, uma vez que controla as faixas de temperatura por LED e não por *display*, como os demais. Como o *display* é mais oneroso que os LEDs, o custo diminui.

Análise das métricas – consumo de energia

Quanto ao consumo de energia de cada protótipo, o simulador retornou a voltagem em intervalos de 1.000s por equipamento monitorado (geladeira e exterior). Assim, para P1, ele retornou a voltagem para a medição da temperatura interna de uma geladeira. Para P2 e P3, retornou a voltagem para temperatura interna e

externa. Para P4, retornou a voltagem para medição de temperatura da geladeira 1, geladeira 2 e externa. E, por fim, para P5, o simulador retornou a voltagem para medição de temperatura da geladeira 1, geladeira 2, geladeira 3 e externa. Por meio da tensão (voltagem) e da resistência dos resistores contidos nos protótipos, a potência (P) de cada protótipo foi definida. A Tab. 9 apresenta os resultados:

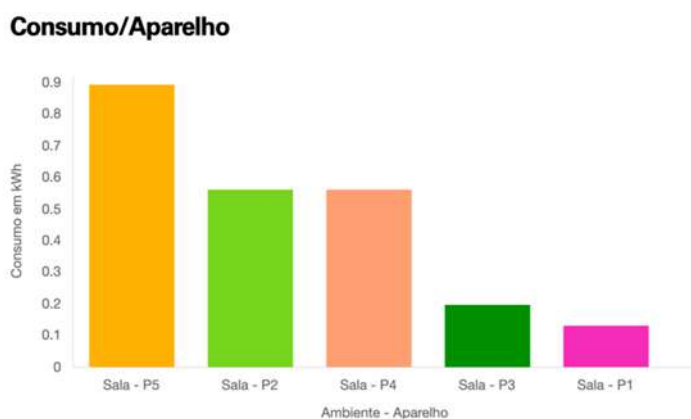
Tabela 9: Tensão e potência para cada protótipo

Protótipo 1		Protótipo 2		Protótipo 3		Protótipo 4		Protótipo 5	
Simulações	Tensão	Simulações	Tensão	Simulações	Tensão	Simulações	Tensão	Simulações	Tensão
1	3,75 V	1	2,32 V	1	4,5 V	1	6,43 V	1	11,16 V
2	0,26 V	2	4,95 V	2	5,29 V	2	7,26 V	2	13,41 V
3	4,23 V	3	7,15 V	3	5,41 V	3	4,39 V	3	13,15 V
4	3,13 V	4	8,54 V	4	2,81 V	4	8,98 V	4	13,18 V
5	3,82 V	5	6,47 V	5	4,16 V	5	11,72 V	5	5,51 V
6	1,48 V	6	4,59 V	6	2,24 V	6	7,61 V	6	14,24 V
7	2,07 V	7	3,71 V	7	2,55 V	7	6,95 V	7	10,83 V
8	0,14 V	8	3,21 V	8	7,55 V	8	5,25 V	8	11,39 V
9	3,57 V	9	6,82 V	9	5,01 V	9	8,45 V	9	13,24 V
10	2,43 V	10	5,43 V	10	6,16 V	10	9,08 V	10	10,92 V
Tensão_Med	2,488 V	Tensão_Med	5,319 V	Tensão_Med	4,568 V	Tensão_Med	7,612 V	Tensão_Med	11,703 V
Resistência	220 Ω	Resistência	220 Ω	Resistência	220 Ω	Resistência	220 Ω	Resistência	220 Ω
Potência (P)	0,03 W	Potência (P)	0,13 W	Potência (P)	0,09 W	Potência (P)	0,26 W	Potência (P)	0,62 W

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

As tensões utilizadas no cálculo da potência de cada protótipo são a média das tensões medidas em dez simulações. A partir das potências obtidas e utilizando o simulador de consumo energético da Enel-RJ, obteve-se o consumo energético mensal de cada um dos protótipos, tal como apresentado na Figura 9 abaixo:

Figura 9: Consumo de energia por protótipo



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

O protótipo P1 é o que possui o menor consumo energético dentre todos os protótipos. Isso ocorre devido à ausência de *display* na sua montagem, consumindo menos energia, em relação aos outros protótipos. Em contrapartida, o protótipo P5 consome mais energia, uma vez que monitora três geladeiras e a temperatura externa do ambiente ao mesmo tempo. Percebe-se que, enquanto em relação ao custo P5 seja mais vantajoso, ele se torna menos vantajoso em relação ao consumo energético. Ou seja, P5 possui o menor custo de montagem e o maior custo energético dentre todos os protótipos.

P2 e P4 possuem consumos semelhantes. Enquanto P2 monitora duas temperaturas em seis geladeiras, P4 monitora três temperaturas em três duplas de geladeiras. Dessa forma, P4 é mais eficiente energeticamente do que P2. Já P3 possui o segundo menor consumo energético dentre os protótipos, mas um dos maiores custos. A Tab. 10 apresenta o consumo energético mensal de cada protótipo no cenário simulado em valores monetários.

Tabela 10: Custo energético mensal de cada protótipo

Descrição	Quantidade	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total	
P1	6	24 horas	0,13	R\$0,09	5,54%
P2	6	24 horas	0,56	R\$0,40	24,00%
P3	3	24 horas	0,19	R\$0,14	8,31%
P4	3	24 horas	0,56	R\$0,40	24,00%
P5	2	24 horas	0,89	R\$0,63	38,15%

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Percebe-se que os valores energéticos são bastante baixos para os protótipos. Caso esses valores se assemelhem à realidade, qualquer um dos protótipos se torna vantajoso para o monitoramento do cenário do ponto de vista energético.

CONCLUSÃO

Para um cenário de armazenamento de vacinas realizado em um ambiente controlado com a presença de seis geladeiras de armazenamento, foram desenvolvidos cinco protótipos para monitoramento das suas temperaturas internas e externas. Para comparar como cada protótipo se comporta, foram calculados os custos de montagem de cada protótipo no cenário desejado, bem como seu consumo energético de acordo os dados da Enel-RJ.

É possível perceber que custo e consumo energético são inversamente proporcionais para alguns protótipos, uma vez que, enquanto o custo de confecção é baixo, o consumo energético aumenta. Isso se dá pelo fato de o protótipo com menor custo de montagem requerer menos peças para comportar o cenário, uma vez que faz o monitoramento simultâneo de mais geladeiras. Entretanto, esse monitoramento simultâneo gera uma carga energética maior.

Uma vez que o consumo energético é baixo para todos os protótipos propostos, acredita-se que o custo de montagem seja o principal fator de decisão nesse cenário. Considerando apenas essas duas métricas, o melhor protótipo seria o P5. Recomenda-se que mais aspectos sejam levados em consideração e que os protótipos sejam simulados em outros cenários e testados no cenário real para que se possa compará-los de maneira mais profunda.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *Consulta Pública nº 343, de 11 de maio de 2017*, 2017. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2957539/CONSULTA+PUBLICA+N+343+GGFIS.pdf/2dbf8b62-68cf-43f9-8bfe-5dc55347718f>. Acesso em: 31 out. 2019.
- ARDUINO. *Arduino – Introduction*. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 3 nov. 2019.
- BASILLI, V. R. *Software Modeling and measurement: The Goal/Question/Metric Paradigm*. [s.l.] Institute for Advanced Computer Studies. Department of Computer Science. University of Maryland, 1992.
- BOYD, A. J. The evolution of goal-based information modelling: literature review. *Aslib Proceedings*, v. 57, n. 6, p. 523–538, dez. 2005.
- CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO. *Relatório de avaliação da execução de programa de governo nº 71 – apoio financeiro para aquisição e distribuição de medicamentos do Componente Especializado da Assistência Farmacêutica (CEAF)*, 2017. Disponível em: <https://auditoria.cgu.gov.br/download/9691.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- MEDINA, F. *Proposta de gestão de transporte em indústrias de imunobiológicos*. 72f. 2017. Monografia (Especialização em Tecnologias Industriais Farmacêuticas) – Instituto de Tecnologia em Fármacos (Farmanguinhos), Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2017.
- MICROSOFT. *AutoDesk Tinkercad*. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/p/autodesk-tinkercad/9wzdnrcdx1r?activetab=pivot:overviewtab>. Acesso em 28 dez. 2020.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Manual de normas e procedimentos para vacinação*. Brasília: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em: https://bvs.ms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_procedimentos_vacinacao.pdf. Acesso em: 28 dez. 2020.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Manual de rede de frio do Programa Nacional de Imunizações*. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2017/dezembro/15/rede_frio_2017_web_VF.pdf. Acesso em: 31 out. 2019
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Programa Nacional de Imunizações – 30 anos*. Brasília: Ministério da Saúde, 2003. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/livro_30_anos_pni.pdf. Acesso em: 28 dez. 2020.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE; AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução-RDC nº 304, de 17 de setembro de 2019. Dispõe sobre as Boas Práticas de Distribuição, Armazenagem e de Transporte de Medicamentos. *Diário Oficial da União*. Brasília/DF, 2019.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. *Manual de procedimentos operacionais padrão (POP) da assistência farmacêutica*. Campinas: Secretaria de Saúde, 2016.
- RAGLIONE, D. *et al.* Avaliação da rede de frio para conservação de vacinas em unidades básicas de saúde das regiões Sul e Centro-Oeste do município de São Paulo em 2011-2012. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 25, n. 1, p. 10-11, 2016.
- RAINHO, F.; BARREIROS, J. Agile Process Optimization: An Approach Using the CMMI and GQM. In: IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (CISTI), 14., 2019. *Anais...*, Coimbra (Portugal), jun. 2019.
- RAPKIEWICZ, J. C.; GROBE, R. Cuidados no armazenamento de medicamentos sob refrigeração. *CIM Formando*, 2. ed., ano XII, 2014. p.8.
- SILVA, C. *et al.* Medicamentos termolábeis: estabilidade após ruptura da cadeia de frio. In: COLÓQUIO DE FARMÁCIA, 8., v. 30, p. 15, *Actas...*, 2012.

Dados dos autores

- Wallice Medeiros de Souza (wallice.souza@aluno.cefet-rj.br). Mestrando do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) - Cefet-RJ.
- Igor Leão dos Santos (igor.santos@cefet-rj.br). Doutorado – Professor - Cefet-RJ.
- Camila Ganefff Ribeiro Moraes (camila.ganefff@gmail.com). Mestrando do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) – Cefet-RJ.
- Letícia Ali Figueiredo Ferreira (leticialifig@gmail.com). Mestranda do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) - Cefet-RJ.
- Eyko Medeiros Rios (eyko.rios@aluno.cefet-rj.br). Mestranda do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) - Cefet-RJ.
- Vanessa Aparecida de Sá Machado (vanessa.machado@aluno.cefet-rj.br). Mestranda do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) – Cefet-RJ.

APLICAÇÃO VOLT-WATT E VOLT-VAR NA REGULAÇÃO DE TENSÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO COM PRESENÇA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Bruno Gonçalves de Oliveira

Tiago Machado Wanzeller

Patrik Coelho Lopes

Paulo Ricardo Radatz de Freitas

João Paulo Abreu Vieira

RESUMO: Este artigo investiga os efeitos das funções de controle *Volt-Watt* e *Volt-Var* de inversores inteligentes na regulação de tensão em redes de distribuição com presença de sistemas fotovoltaicos (FV). Os principais problemas enfrentados pelos operadores de redes de distribuição devido à alta integração de sistemas FV são a sobretensão e as excessivas comutações de tape em autotransformadores reguladores de tensão. Problema da sobretensão em redes de distribuição pode ser causado pela significativa injeção de potência ativa dos sistemas FV. Além disso, as variações rápidas e significativas na potência ativa injetada pelos sistemas FV, associadas com os transitórios de nuvens, resultam em um aumento excessivo de comutações de tape em reguladores de tensão, afetando negativamente a vida útil do equipamento. Simulações de fluxo de carga de séries temporais de um alimentador de MT com a presença de uma usina solar FV foram realizadas em cenários de alta e baixa variabilidade solar.

Palavras-chave: *Volt-watt*. *Volt-var*. Regulador de tensão. Tape. Sistemas de distribuição.

ABSTRACT: This paper investigates the effects of smart inverter Volt-Watt and Volt-Var control functions on voltage regulation in distribution networks with photovoltaic (PV) systems. The major problems faced by distribution network operators due to the high integration of PV systems are the overvoltage and excessive tap counts in step voltage regulators. The overvoltage problem in distribution networks may be caused by significant active power injection from PV systems. Moreover, the rapid and significant variations in PV generator active power associated with cloud transients result in an increase of voltage regulator tap counts, adversely affecting the useful life of the device. Time-series power flow simulations on a single MV feeder with a PV solar plant have been performed in high and low solar variability scenarios.

Keywords: Smart inverter. Volt-watt. Volt-var. Voltage regulator. Excessive tap counts. PV penetration. Distribution systems.

INTRODUÇÃO

Segundo a ANEEL, em dezembro de 2015, foi lançado o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). Com R\$ 100 bilhões em investimentos, a previsão é que, até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residências, comércios, indústrias e setor agrícola, o que pode resultar em 23.500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2017), em 09/10/2017, o Brasil contava com 438,3 MW de potência instalada de geração solar, correspondentes a 15,7 mil instalações. Considerando todas as fontes de micro e minigeração distribuída (GD), o setor comercial detém a maior participação em potência (37%), o residencial a maior participação em nº de usuários (75%), e o industrial a maior potência média por usuário (81 kW).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2026 estima que a capacidade instalada de geração solar chegue a 13 GW em 2026, sendo 9,6 GW de geração centralizada e 3,4 GW de geração distribuída. A proporção da potência solar chegará a 5,7% do total. Os estudos do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, em elaboração pela Empresa de Pesquisa Energética, estimam em 78 GW a potência de micro e mini GD solar em 2050, o que poderá representar 9% da oferta total de energia elétrica do ano. No aquecimento de água, a previsão é que 20% dos domicílios detenham coletores (MME, 2017).

Além da vantagem de produzir energia limpa e reduzir gastos com consumo tarifado da energia elétrica, a geração solar ainda possui vantagens socioambientais, pois, a energia solar é livre de carbono e, portanto, contribui para a redução de emissões de CO₂ na natureza. Com a implementação do ProGD, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera de acordo com a ANEEL.

Em um futuro não muito distante, esse crescente aumento de conexões de geradores FV nas redes de distribuição do Brasil associado com a imprevisibilidade e a carência de inércia desse tipo de fonte introduzirá vários problemas na operação dessas redes. Os principais problemas estão relacionados à sobretensão e a comutações excessivas de tape dos RTs em redes de distribuição em média tensão (MT), que poderão aumentar os custos de violações dos limites

de tensão estabelecidos pelo PRODIST (ANEEL, 2017) e de manutenção em equipamentos reguladores de tensão, como LTCs (*Load Tap Changer*), reguladores de tensão (RTs) e capacitores chaveados automaticamente.

Na busca de soluções para minimizar esses problemas, além dos controles de tensão já consolidados, surgem as funcionalidades de controle inteligente presentes nos inversores fotovoltaicos. Sendo assim, uma série de estratégias utilizando as funcionalidades inteligentes dos inversores foi descrita no trabalho elaborado pelo Electric Power Research Institute (SMITH, 2013), visando analisar e mitigar os efeitos causados pelo alto nível de penetração FV. Em Meghasai *et al.* (2015), é descrita a utilização das funcionalidades de controle inteligente presentes nos inversores FV, *Volt-Watt* e *Volt-Var*, bem como os efeitos que esses controles causam na rede. Em Smith *et al.* (2011a), os autores analisaram o desempenho do controle *Volt-Var* em sistemas de distribuição com alta penetração FV. Em Smith *et al.* (2011b), os autores apresentaram a utilização da função de controle *Volt-Var do(s) inversor(es) do(s) sistema(s) FV* como forma de reduzir a sobretensão causada pela inserção desse(s) sistema(s) e aumentar a capacidade de hospedagem nas redes de distribuição. Já em Sunderman *et al.* (2014), os autores descrevem a utilização das três principais funções de controle presentes nos inversores FV, função *Volt-Watt*, função *Volt-Var* e função que controla a corrente reativa dinamicamente.

Sendo assim, este artigo tem por objetivo analisar os efeitos causados pelas funções de controle inteligente, nomeadamente conhecidas como *Volt-Watt* e *Volt-Var*, na operação dos RTs em redes de distribuição em MT com diferentes níveis de variabilidade solar e alto grau de penetração da geração FV.

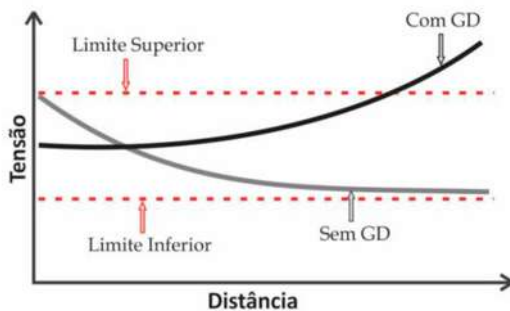
PROBLEMAS DE REGULAÇÃO DE TENSÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO ATIVAS

A crescente conexão de sistemas FV à rede de distribuição leva a uma série de desafios, uma vez que tais redes convencionais foram projetadas e dimensionadas para alimentar as cargas com fluxo de potência unidirecional. Além disso, elevados níveis de penetração de geradores fotovoltaicos distribuídos afetam diretamente os sistemas de distribuição, seja durante condições normais de operação, seja para condições de variações, devido às suas características distintas que diferem da geração convencional (EFTEKHARNEJAD *et al.*, 2013).

Sobretensão

Os sistemas FV são dimensionados para o atendimento de cargas, que por sua vez são as forças que impulsionam o sistema para problemas operacionais relacionados à regulação de tensão. Então, a conexão massiva de sistemas FV distribuídos próximos às cargas pode acarretar em novos desafios para operação dos sistemas de distribuição, além de resultar em impactos que podem causar benefícios e/ou malefícios do ponto de vista da operação do sistema. A Fig. 1 apresenta a elevação da tensão em função da distância causada pela inserção da GD em um alimentador com cargas leves, com e sem a presença da geração distribuída.

Figura 1: Sobretensão causada pela GD



Fonte: Adaptado de Barker (2002)

Atualmente, os operadores de redes de distribuição buscam manter o perfil adequado de tensão ao longo do alimentador com a ajuda habitual dos reguladores de tensão, banco de capacitores e LTCs. Entretanto, o desafio do controle de tensão é intensificado quando o sistema FV impacta na operação de reguladores de tensão (BARATA, 2017). A conexão do sistema FV em um ponto do sistema causa um aumento de tensão, conforme apresentado na Equação (1). Esse acréscimo de tensão depende tanto da impedância “vista” do ponto de conexão à subestação, quanto das potências ativa e reativa geradas pelo sistema.

$$\Delta V = V_{fv} - V_1 \approx \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{V_{fv}^*} \quad (1)$$

Onde $P = P_{fv} - P_{carga}$, $Q = \pm Q_{fv} - Q_{carga}$, R e X são as resistência e reatância “vistas” do ponto de conexão à subestação (SOUZA, 2017).

Excessivas comutações de tape

Outro problema enfrentado pelos operadores do sistema são as consequentes comutações excessivas de tape em reguladores de tensão. Isso acontece pois as variações na potência

ativa injetada pela geração FV, causadas por nuvens transitórias em dias nublados, resultam em rápidas e, por vezes, em significativas variações de tensão, prejudicando a qualidade da energia da rede. Segundo Rogers e Green (2013), quando o nível de penetração da geração FV é elevado, a intermitência da fonte solar pode resultar em comutações excessivas de tape em reguladores de tensão, alcançando até 400 comutações por dia, levando a 150.000 operações de tape por ano e cerca 6 milhões de operações de tape durante uma vida de 40 anos. Essas comutações excessivas acabam diminuindo a vida útil e aumentando a quantidade de manutenções realizadas nesses equipamentos.

FUNÇÕES DE CONTROLE VOLT-WATT E VOLT-VAR

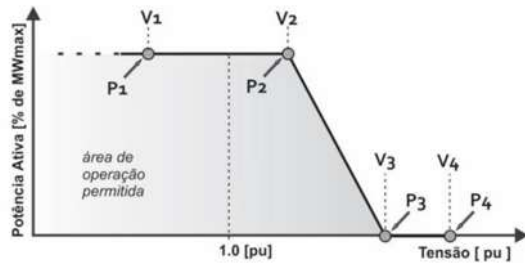
Uma série de estratégias utilizando as funcionalidades inteligentes dos inversores foram descritas em Smith (2013), incluindo as estratégias de controle *Volt-Watt* e *Volt-Var*, visando analisar e mitigar os efeitos causados pelo alto nível de penetração PV. A seguir, são descritas as funções de controle *Volt-Watt* e *Volt-Var*.

Função de Controle *Volt-Watt*

A funcionalidade *Volt-Watt* é utilizada para reduzir a saída de potência ativa em cada sistema FV individualmente, com o objetivo de amenizar as sobretensões causadas pela inserção da GD. Isso pode ser extremamente necessário quando os controles existentes de regulação da tensão não conseguem evitar essas sobretensões (SUNDERMAN, 2014). Segundo Smith (2013), essa função de controle é mais eficaz para os sistemas de distribuição que possuem um valor baixo para a relação X/R dos cabos, pois, se a rede possuir característica mais reativa do que resistiva, a função *Volt-Var* pode ser mais apropriada. Esse fato pode ser visto na Equação (1) – com X/R baixo, o efeito do produto $R \cdot P$ é mais predominante em alterar a variação de tensão do que o termo $X \cdot Q$.

A função *Volt-Watt* destina-se a fornecer um mecanismo flexível através do qual uma curva *Potência Ativa vs. Tensão do ponto de conexão*, conforme apresentado na Fig. 2. À medida que a tensão aumenta acima de um certo nível (V_2), a saída de potência ativa é reduzida linearmente de P_2 até P_3 para tensões entre V_2 e V_3 . No nível de tensão V_3 ou superior, a saída de potência ativa é ajustada para zero.

Figura 2: Curva de Controle Volt-Watt



Fonte: Adaptado de Smith (2013)

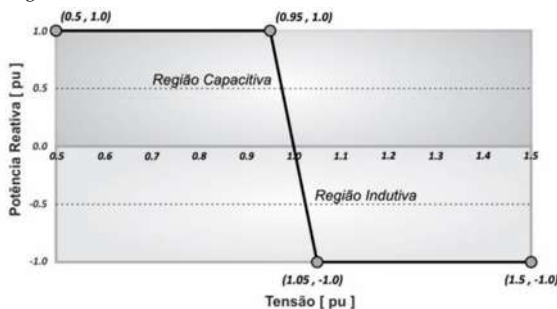
Vale salientar que a função *Volt-Watt* ajusta apenas a saída de potência ativa e não a saída de potência reativa (SUNDERMAN, 2014).

Função de Controle Volt-Var

Recentemente, a possibilidade de incorporar a capacidade de controle de potência reativa com a utilização dos inversores dos sistemas FV para dar suporte à rede de distribuição foi relatada em vários artigos. A alta penetração FV causa um alto grau de imprevisibilidade no funcionamento de um alimentador de distribuição, devido ao comportamento intermitente da radiação solar. Isso tem um grande impacto sobre o fluxo de potência e o perfil de tensão do alimentador (MEGHASAI *et al.*, 2015). A exploração da capacidade que o sistema FV possui de injeção/absorção de potência reativa é uma opção cada vez mais atrativa. Em Trindade *et al.* (2017), ressalta-se que a opção para mitigar problemas de qualidade de tensão é usar a capacidade dos inversores dos sistemas FV.

No geral, a funcionalidade de controle inteligente *Volt-Var* é usada para tentar manter a tensão no terminal do sistema fotovoltaico dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST (ANEEL, 2017). Assim, a absorção de potência reativa (região indutiva) pode ser utilizada se a tensão exceder o limite superior, conforme a definição da curva *Volt-Var* apresentada na Fig. 3. Por outro lado, se houver tensões inferiores ao normal nos terminais do sistema FV, a potência reativa pode ser entregue à rede (região capacitiva) para ajudar a aumentar a tensão para níveis adequados (SUNDERMAN *et al.*, 2014).

Figura 3: Curva de Controle Volt-Var



Fonte: Adaptado de Smith (2013)

De acordo com Trindade *et al.* (2017), os inversores do gerador FV são tipicamente dimensionados para fornecer apenas energia ativa com base no tamanho do painel fotovoltaico. Não é uma prática padrão injetar ou absorver energia reativa. No entanto, estudos recentes consideram a capacidade que os inversores FV possuem de fornecer/absorver potência reativa para controlar o nível de tensão devido ao aumento expressivo nos níveis de penetração FV. Assim, a potência reativa máxima (Q_{max}) que um sistema FV pode fornecer em determinado instante (t), depende da potência ativa gerada nesse instante ($P(t)$). Sendo assim, é assumido para este trabalho que toda a gama de potência reativa está disponível para ser enviada para a rede (potência reativa capacitiva) ou absorvida da rede (potência reativa indutiva). Logo, a potência reativa disponível (a ser fornecida ou absorvida) em qualquer momento na simulação é regida pela Equação (2). Onde S_{nom} é a potência aparente nominal do inversor:

$$Q_{max}(t) = \sqrt{S_{nom}^2 - P(t)^2} \quad (2)$$

A Equação (1) apresenta a relação entre a variação de tensão e as potências ativa e reativa fornecidas pelo sistema FV. Logo, fazendo $\Delta V=0$, Q é representado pela Equação (3):

$$Q \approx -\frac{R \cdot P}{X} = -P \cdot \left(\frac{X}{R}\right)^{-1} \quad (3)$$

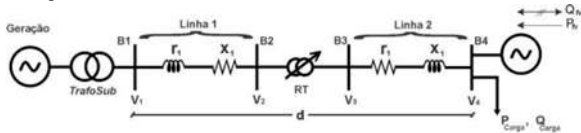
Portanto, ao utilizar o controle *Vol-Var* nos inversores FV, a quantidade de potência reativa que deve ser injetada para cancelar a variação de tensão depende da mudança de potência ativa P e da relação X/R do ponto de conexão (TRINDADE *et al.*, 2017).

ALIMENTADOR TESTE EM MÉDIA TENSÃO

Descrição do sistema

Para este artigo, um alimentador teste de quatro barras foi escolhido, conforme mostrado na Fig. 4. Apesar do número pequeno de barras, essa rede é configurada de forma a fornecer um teste válido para as principais análises realizadas em sistemas de distribuição. Observa-se também um sistema FV (modelado através do elemento PVSsystem do *software* OpenDSS) conectado à barra 4 da rede teste, onde foram disponibilizados elevados valores de potências a serem injetadas na rede.

Figura 4: Alimentador teste de 4 barras



Fonte: Próprio autor

O sistema teste foi modelado e simulado através do *software* OpenDSS, que é controlado pelo Matlab através de sua interface COM. Logo, para implementar um RT no OpenDSS, é necessário definir um Transformador 1:1 através do objeto *Transformer* e, em seguida, implementar o controle através do objeto *RegControl*.

A rede teste foi configurada com dados característicos da MT. Assim, considerou-se uma distância de 18 km (linha 1 e linha 2 com 9 km cada), com carga de 500kW e 50kvar e foi utilizado o cabo do tipo Alumínio Nu 336 MCM, que possui uma relação X/R de 2.0135, apresentando-se como um sistema mais reativo do que resistivo.

Este cenário foi configurado e simulado para então verificar e analisar os efeitos que funções de controle inteligente, *Volt-Watt* e *Volt-Var*, causam na operação dos reguladores de tensão em redes de distribuição em média tensão com inserção da geração FV, bem como poder concluir qual controle é mais eficiente na redução das comutações excessivas de tape.

OpenDSS e o sistema FV

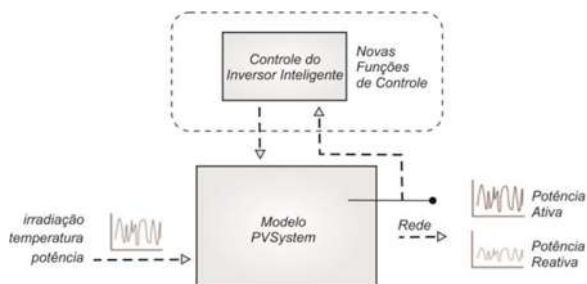
Um sistema fotovoltaico consiste em um ou mais módulos ou painéis de células solares que convertem a radiação solar em corrente contínua (CC). Em seguida, um inversor CC/CA inverte a corrente contínua em um sinal de corrente alternada (CA) sincronizado com a rede (SMITH, 2013).

No programa OpenDSS, esses componentes são representados de forma simplificada no elemento PVSystem para simulações em regime permanente senoidal. A versão atual do modelo PVSystem é útil para simulações geralmente com etapas de tempo maiores do que 1s. O modelo pressupõe que o inversor possa encontrar o ponto de máxima potência do painel rapidamente. Isso simplifica a modelagem dos componentes individuais (painéis FV e inversores) e é adequado para a maioria dos estudos de impacto de interconexão (SMITH, 2013).

Um diagrama de blocos simplificado para todo o sistema FV implementado no OpenDSS, desde a célula solar até a rede, é ilustrado na

Fig. 5. O controle do inversor, que fornece os modos de controle *Volt-Watt* e *Volt-Var* também é mostrado na figura, esse controle é modelado no OpenDSS através do elemento de controle InvControl (SMITH, 2013).

Figura 5: Diagrama de blocos simplificado do modelo PVSystem e do modelo InvControl



Fonte: Adaptado de Smith (2013)

RESULTADOS

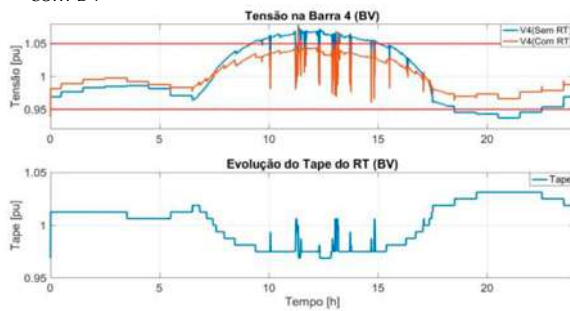
Impactos da GD no sistema

Foram realizadas várias simulações para então analisar os efeitos dos controles *Volt-Watt* (VW) e *Volt-Var* (VV) na regulação de tensão em redes de distribuição com presença de sistemas fotovoltaicos, bem como analisar o que acontece com as saídas de potências ativa e reativa quando se utilizam os controles VW e VV, com e sem o RT. Para isso, foram considerados dois cenários para a variabilidade solar e definidos da seguinte forma: Baixa Variabilidade (BV) e Alta Variabilidade (AV). As simulações foram realizadas utilizando o alimentador em média tensão da Fig. 4 para um período de 24h com passos de simulação de 1s, inicialmente sem o RT e logo em seguida com o RT atuando. As curvas de radiação solar utilizadas neste trabalho correspondem às curvas reais obtidas em uma campanha de medição realizada em uma residência na cidade de Belém do Pará – Brasil.

Sobretensão

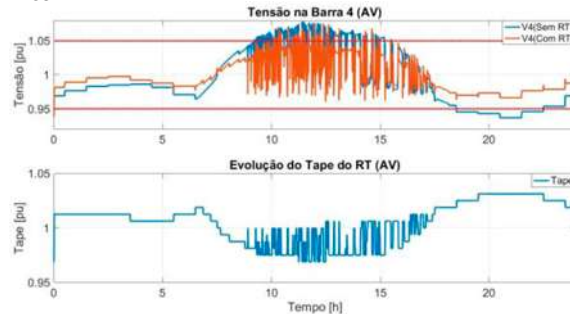
Com isso, um dos principais impactos causados pelo alto nível de penetração FV são as variações de longa duração de tensão nos barramentos onde os sistemas fotovoltaicos são instalados. Então, pode-se observar nas Fig. 6 e Fig. 7 a tensão ao longo do dia no ponto de conexão da GD, bem como os limites máximo e mínimo adequados para valores de tensão (linhas horizontais), antes e após a inserção do RT, demonstrando o funcionamento do RT na regulação de tensão na barra controlada sem a atuação dos controles VW e VV. Considerando os dois cenários, BV e AV, respectivamente.

Figura 6: Tensão e evolução do tape do RT ao longo do dia com BV



Fonte: Próprio autor

Figura 7: Tensão e evolução do tape do RT ao longo do dia com AV



Fonte: Próprio autor

Comutações excessivas de tape

Também pode ser observada, nas Fig. 6 e 7, a evolução do tape do RT ao longo do dia, para os cenários considerados (BV e AV). Sendo assim, a Tabela 1 apresenta o número de comutações de tape realizadas pelo RT, incluindo o alimentador teste sem o sistema fotovoltaico. Demonstrando que a inserção da geração distribuída FV impacta significativamente na operação dos reguladores de tensão e que quanto maior a variabilidade solar, maior é o número de comutações de tape realizadas pelo RT para manter as tensões dentro dos limites adequados, causando desgastes nesses equipamentos e consequentes prejuízos para as empresas mantenedoras.

Tabela 1: Comutações de tape

Alimentador teste	Nº de comutações de tape	
	Sem FV	Com FV
BV	8	108
AV		428

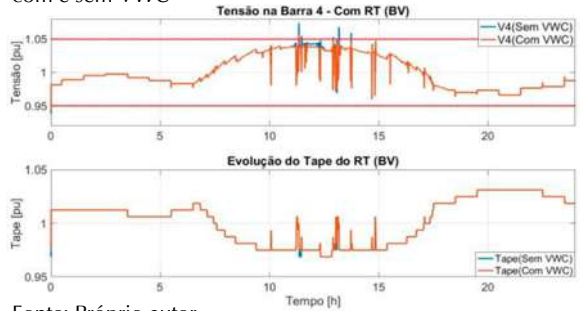
Efeito do controle *Volt-Watt* na operação do RT

Com o controle VW implementado ao sistema teste nos cenários considerados, as simulações pelo mesmo período foram realizadas. Os resultados podem ser observados a seguir.

BAIXA VARIABILIDADE (BV)

A Fig. 8 apresenta a tensão e a evolução do tape do RT ao longo do dia para o cenário com baixa variabilidade solar e com a função de controle *Volt-Watt* (VWC) atuando.

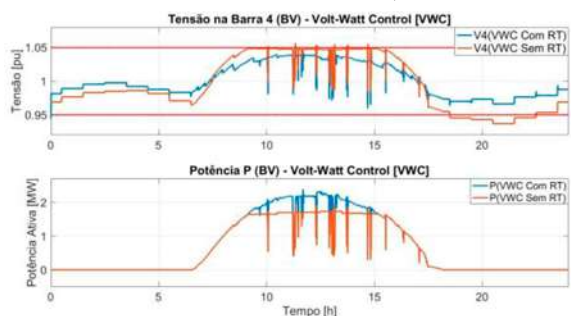
Figura 8: Tensão e evolução do tape ao longo do dia (BV) com e sem VWC



Fonte: Próprio autor

Visando analisar também o efeito da atuação em conjunto do controle VW e RT na saída de potência ativa do sistema fotovoltaico, a Fig. 9 apresenta a tensão e saída de potência ativa do FV ao longo do dia para o cenário com BV, antes e após a instalação do RT, com a função de controle *Volt-Watt* atuando.

Figura 9: Tensão e saída de potência ativa do FV ao longo do dia (BV) com o controle *Volt-Watt* atuando, com e sem RT

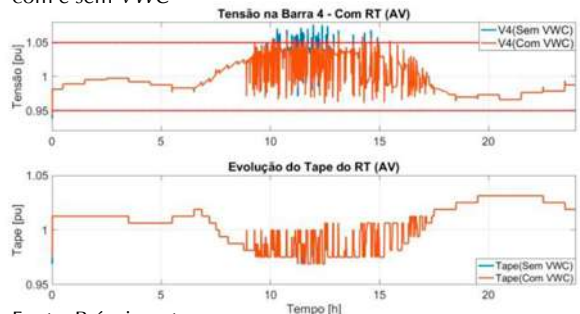


Fonte: Próprio autor

ALTA VARIABILIDADE (AV)

Em seguida, considerando o dia com alta variabilidade da radiação solar, pode-se observar, através da Fig. 10, a tensão e a evolução do tape do RT ao longo do dia com a função de controle *Volt-Watt* atuando.

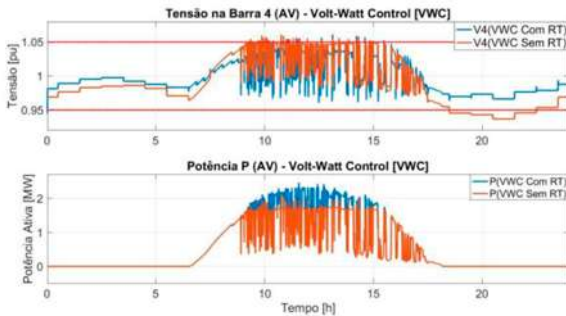
Figura 10: Tensão e evolução do tape ao longo do dia (AV) com e sem VWC



Fonte: Próprio autor

Agora, a Fig. 11 apresenta a tensão e saída de potência ativa do sistema fotovoltaico ao longo do dia para o cenário com AV com a função de controle *Volt-Watt* atuando, antes e após a instalação do RT.

Figura 11: Tensão e saída de potência ativa do FV ao longo do dia (AV) com e sem RT



Fonte: Próprio autor

Nota-se, através das Fig. 8 e 10, que a tensão foi pouco modificada pelo controle *VW*, visto que as atuações do RT conseguiram evitar a sobretensão, de modo que houve praticamente o mesmo comportamento nas comutações de tape do RT, com e sem o controle *VW* atuando em conjunto. Entretanto, através das Fig. 9 e 11, é possível observar que houve mudanças na saída de potência ativa fornecida pelo sistema fotovoltaico, considerando como caso base o alimentador teste sem RT e com *VWC*, sendo comparado com a inserção do RT ao alimentador. Logo, observa-se um aumento da potência ativa fornecida pelo sistema FV.

CONTROLE VOLT-WATT E AS COMUTAÇÕES DE TAPE

Um algoritmo implementado em Matlab com dados provenientes do OpenDSS permitiu quantificar o número de comutações de tape que foram realizadas nas simulações após a implementação do controle *Volt-Watt* ao alimentador teste em análise. A Tabela 2 apresenta estes valores para os cenários considerados, BV e AV, respectivamente.

Tabela 2: Controle *VW* e as comutações de tape

Alimentador teste	Nº de comutações de tape	
	Sem <i>VWC</i>	Com <i>VWC</i>
BV	108	103
AV	428	417

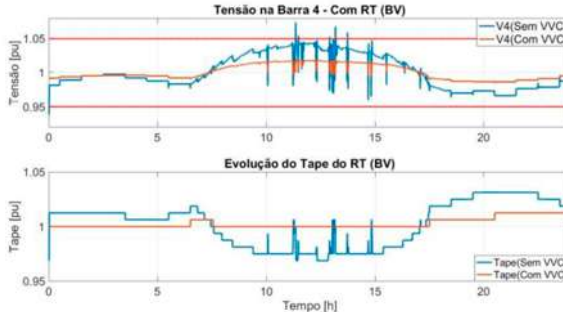
Efeito do controle *Volt-Var* na operação do RT

Em seguida, novas simulações foram realizadas com o controle *VV* implementado ao sistema teste nos cenários considerados. Os resultados podem ser observados a seguir.

BAIXA VARIABILIDADE (BV)

A Fig. 12 apresenta a comparação da tensão na barra de conexão da GD e a evolução do tape do RT ao longo do dia para o cenário com BV, com e sem a função de controle *Volt-Var* (*VVC*) atuando.

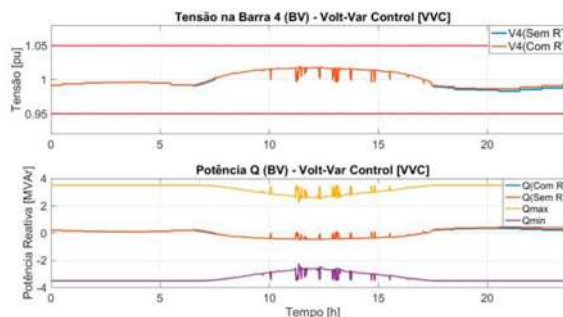
Figura 12: Tensão e evolução do tape ao longo do dia (BV) com e sem *VVC*



Fonte: Próprio autor

Visando analisar também o efeito da atuação em conjunto do controle *VV* e RT na saída de potência reativa do sistema fotovoltaico, a Fig. 13 apresenta a tensão e a saída de potência reativa do FV ao longo do dia para o cenário com baixa variabilidade solar, bem como os limites máximo e mínimo para tensão e para potência reativa – Eq. (2) –, antes e após a instalação do RT, com a função de controle *Volt-Var* atuando.

Figura 13: Tensão e saída de potência ativa do FV ao longo do dia (BV) com e sem RT

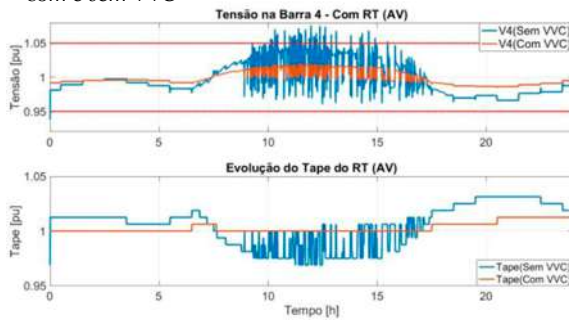


Fonte: Próprio autor

ALTA VARIABILIDADE (AV)

A Fig. 14 apresenta a tensão e a evolução do tape do RT ao longo do dia com alta variabilidade da irradiação solar, com e sem a atuação da função de controle *Volt-Var*.

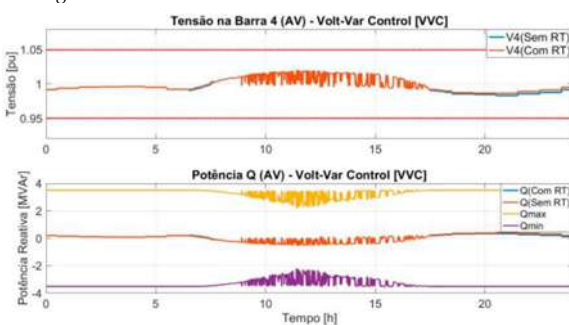
Figura 14: Tensão e evolução do tape ao longo do dia (AV) com e sem VVC



Fonte: Próprio autor

A Fig. 15 apresenta a tensão e a saída de potência reativa do FV ao longo do dia para o cenário com AV, antes e após a instalação do RT, com a função de controle *Volt-Var* ativa.

Figura 15: Tensão e saída de potência reativa do FV ao longo do dia (BV) com e sem RT



Fonte: Próprio autor

Nota-se, através das Fig. 12 e 14, que a tensão foi notavelmente melhorada pelo controle VV. Em consequência desse fato, houve poucas comutações de tape para ambos os cenários considerados. Entretanto, através das Fig. 13 e 15, é possível observar que houve pouca mudança na saída de potência reativa disponibilizada pelo sistema fotovoltaico, com a utilização do RT e sem a utilização do RT com uso do controle VV, para os cenários considerados.

CONTROLE VOLT-VAR E AS COMUTAÇÕES DE TAPE

A Tabela 3 apresenta o número de comutações de tape que foram realizadas pelo RT após a implementação do controle *Volt-Var* ao alimentador teste em análise para os cenários considerados, BV e AV, respectivamente.

Tabela 3: Controle VV e as comutações de tape

Alimentador teste	Nº de comutações de tape	
	Sem VVC	Com VVC
BV	108	4
AV	428	4

CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo principal analisar os efeitos das funções de controle *Volt-Watt* e *Volt-Var* na operação do regulador de tensão em redes de distribuição com presença de sistemas FV. Diferentes cenários de variabilidade solar diária (BV e AV) foram consideradas nas simulações de fluxo de carga de séries temporais em um alimentador teste. Sendo assim, inicialmente sem considerar os controles VW e VV, através dos resultados obtidos, pode-se observar que quanto maior a variabilidade solar, mais o RT é solicitado, ou seja, maior é o número de comutações de tape necessárias para controlar a tensão desejada, aumentando o desgaste do equipamento e diminuindo sua vida útil.

Através das simulações que analisaram a implementação do controle *Volt-Watt*, pode-se notar que o controle VW contribui muito pouco na regulação de tensão em redes de distribuição em MT com a presença de RT. Essa pequena parcela de contribuição na regulação de tensão se justifica pelo fato de que as atuações do RT conseguem evitar as elevadas tensões causadas pela inserção da geração distribuída fotovoltaica. Logo, não é necessária a limitação significativa de potência ativa por parte do controle VW, pois, o regulador opera praticamente como no caso sem o VVC.

Agora, considerando os alimentadores com a presença do controle VW e sem RT. Então, comparando este cenário com o em que o controle VW atua com a presença do RT, observa-se que, em ambos (BV e AV) considerados, os alimentadores que não possuem RT para controlar a tensão tiveram que reduzir a saída de potência ativa através do controle VW, visto que esse controle atua na limitação de potência ativa para reduzir a sobretensão causada pelo sistema FV. Por outro lado, os alimentadores onde o RT e o controle VW atuaram em conjunto, possuíam a capacidade de disponibilizar grande parte da potência ativa disponível pelo FV para a rede, de acordo com sua curva de radiação solar considerada, fato este que aumenta o aproveitamento da energia limpa disponibilizada pelo FV à rede. Porém, esse aumento de potência fornecida pelo FV é resultado de um alto número de comutações de tapes do regulador.

Foi demonstrada também a atuação do controle *Volt-Var* implementado em conjunto com o RT. Nesse sentido, pode-se notar que essa função permitiu trazer a tensão para dentro dos limites adequados nos dois cenários considerados (BV e AV), através do controle de potência reativa.

Fazendo com que o inversor FV atuasse absorvendo reativos e, portanto, diminuindo o nível da tensão em análise de acordo com a potência reativa disponível. Além disso, pode-se observar que as comutações excessivas de tape do RT foram reduzidas consideravelmente se comparado ao caso sem VVC, chegando a apenas quatro comutações durante o dia nos dois cenários considerados, o que representou uma redução de 96,29% para o dia com BV e uma redução maior ainda de 99,06% para o dia com AV.

Para os resultados das simulações que levam em consideração a saída de potência reativa disponibilizada pelo FV com aplicação do controle VV, nota-se que não houve mudanças significativas da saída de potência reativa, com e sem o RT. Isso se deve ao fato de o controle VV operar praticamente do mesmo modo em ambos os cenários (com e sem RT). Isso é resul-

tado da velocidade do controle do inversor, que opera mais rápido do que o regulador e, portanto, para este estudo, ele foi capaz de colocar em geral a tensão vista pelo regulador sempre dentro da faixa aceitável.

Por fim, ressalta-se que a utilização do controle VV em conjunto com o RT traz maiores benefícios para a regulação de tensão em redes de distribuição em MT ao reduzir significativamente a sobretensão e o número de comutações de tape do RT, para ambos os cenários de variabilidade solar considerados. Essa significativa redução do número de comutações de tape do RT pode contribuir para reduzir os custos de manutenções e aumentar a vida útil do equipamento. Assim, para trabalhos futuros, pretende-se realizar estudos que permitirão mensurar os ganhos financeiros da aplicação do controle VV, tanto por evitar violações dos limites de tensão quanto por reduzir custos de manutenção no RT.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRO-DIST, Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica*. Última Revisão Aprovada pela Resolução Normativa nº 767/2017 – Vigência de 01/01/2018.
- BARATA, Heitor A. *Impacto de redes de distribuição com massiva conexão de geradores fotovoltaicos na estabilidade de tensão de longo-prazo em sistemas de potência*. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – PPGEE, Universidade Federal do Pará – UFPA, 2017.
- BARKER, Philip. Overvoltage Considerations in Applying Distributed Resources on Power Systems. *In: IEEE PES Summer Meeting*, v. 1, p. 109-114. Proc., 2002.
- EFTEKHARNEJAD, Sara; VITTAL, Vijay; HEYDT, Gerald Thomas; KEEL, Brian; LOEHR, Jeffrey. Impact of increased penetration of photovoltaic generation on power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 28, n. 2, p. 893-901, May 2013.
- MEGHASAI, S. M.; VEGA, R.; KRISHNASWAMI, H.. Simulation of Smart Functionalities of Photovoltaic Inverters by Interfacing OpenDSS and Matlab. *In: IEEE WORKSHOP ON CONTROL AND MODELING FOR POWER ELECTRONICS (COMPEL)*, 16., p. 1-6. Proc., Vancouver, BC, 2015.
- MME. Ministério de Minas e Energia. *Energia solar no Brasil e no mundo*. Última Revisão Aprovada pela Resolução Normativa nº 767/2017 – Vigência de 01/01/2018.
- ROGERS, Daniel J.; GREEN, Tim C. An active-shunt diverter for on-load tap changers. *IEEE Trans. Power Del.*, v. 28, n. 2, p. 649–657, April 2013.
- SMITH, J.; SUNDERMAN, W.; DUGAN, R. and SEAL, B. Smart Inverter Volt/Var Control Functions for High Penetration of PV on Distribution Systems. *In: IEEE PES POWER SYSTEMS CONFERENCE AND EXPOSITION. Proc.*, Phoenix, AZ, 2011a.
- SMITH, J.; SEAL, B.; SUNDERMAN, W. and DUGAN, R. Simulation of Solar Generation with Advanced Vol-Var Control. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED)*, 21., Proc., Frankfurt, Germany, 2011b.
- SMITH, J. *Modeling High-Penetration PV for Distribution Interconnection Studies: Smart Inverter Function Modeling in OpenDSS*, Rev 2. EPRI, Palo Alto, 3002002271, 2013.
- SOUZA, Vanderson C. *Controle local de potência reativa em geradores fotovoltaicos para a melhoria da regulação de tensão em redes de distribuição*. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará – UFPA, 2017.
- SUNDERMAN, W.; DUGAN, R. C. and SMITH, J.. Open Source Modeling of Advanced Inverter Functions for Solar Photovoltaic Installations. *In: T&D CONFERENCE AND EXPOSITION, 2014 IEEE PES*, v.1, n. 5, p. 14-17, Proc., April 2014.
- TRINDADE, Fernanda C. L.; FERREIRA, Thiago S. D.; LOPES, Mariana G.; FREITAS, Walmir. Mitigation of Fast Voltage Variations During Cloud Transients in Distribution Systems with PV Solar Farms. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 32, n. 2, April 2017.

Dados dos autores

Bruno Gonçalves de Oliveira (brunoserv@hotmail.com). Engenheiro Eletricista – UFPA, Mestrando em Eficiência energética UFPA 2019. Engenheiro Projetista da empresa Tela Projetos e Treinamentos.

Tiago Machado Wanzeller (tiagowanzeller@hotmail.com). Mestrado em Engenharia Elétrica – UFPA, Especialização em Projeto e Desenvolvimento de Sistemas Computacionais, Bacharelado em Engenharia Elétrica e Técnico em Tecnologia da Informação – TI. Sócio fundador da empresa Tesla Projetos e Treinamentos, Docente na Faculdade Pitágoras Unidade de Tucuruí.

Patrik Coelho Lopes (patrick14lopes@gmail.com). Mestre em Engenharia Elétrica na área de Telecomunicações no Programa de Pós Graduação de Engenharia Elétrica (PPGEE). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará.

Paulo Ricardo Radatz de Freitas (paulo.radatz@usp.br). Mestrando em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

João Paulo Abreu Vieira (jpavieira@ufpa.br). Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Professor Associado da UFPA.

GENERAL-PURPOSE TOOL FOR RELIABILITY AND AVAILABILITY ANALYSIS OF REPAIRABLE SYSTEMS

Alexandre Ribeiro

Carla A. S. Geraldes

João P. Almeida

David Lira Nunez

Thalita Monteiro Obal

ABSTRACT: This paper covers general mathematical and simulation models for the reliability and availability analysis of repairable systems along with estimation methods and model selection criterion. A combined mathematical and simulation model is proposed, based on the trend-renewal process. This model is then integrated into a general-purpose tool, for automated modelling of repairable systems. Estimators for different performance measures of the systems are presented. Furthermore, a complete quantitative study is conducted on real data from the food industry together with a presentation of the implemented tool functionalities.

Keywords: repairable systems; trend-renewal process; simulation; reliability analysis; availability.

RESUMO: Este artigo aborda modelos matemáticos e de simulação para a análise de confiabilidade e disponibilidade de sistemas reparáveis, juntamente com métodos de estimação e critério de seleção de modelos. É proposto um modelo matemático e de simulação combinados, baseado no trend-renewal process. Este modelo é então integrado em uma aplicação de uso geral para modelagem automatizada de sistemas reparáveis. São estudados estimadores para diferentes medidas de desempenho dos sistemas e, posteriormente, é realizado um estudo quantitativo completo em dados reais da indústria alimentícia, juntamente com uma apresentação das funcionalidades da ferramenta implementada.

Palavras-chave: sistemas reparáveis; trend-renewal process; simulação; análise de confiabilidade; disponibilidade.

INTRODUCTION

We present is a general-purpose maintenance data analysis and modelling tool based on imperfect repair processes. This approach is mainly concerned with the general behaviour of repairable systems instead of focusing on the individual parts which composes it. With the assistance of simulation, we are able to derive important performance indicator for general repairable systems.

Following IEC (2015), a repairable item is defined to be an item that can, under given conditions, after a failure, be returned to a state in which it can perform as required. Where the term item refers to the engineered object being considered and that can be seen as an entity (Rausand & Høyland, 2003), and failure is simply the termination of the ability of an item to perform a required function (IEC, 2015). Henceforth, we will refer to a repairable item as a repairable system.

The performance of an engineered object is a complex entity characterised by a group of measurable properties of the item (Ben-Daya et al., 2016). In a system reliability analysis, we are interested in finding reliability performance measures, such as reliability and availability (Rausand & Høyland, 2003). The first one defined as the probability of no failure over a specified interval (IEC, 2015). The latter is a measure of the fraction of time in which the system is operational over a specified interval (IEC, 2015).

The main emphasis of this article is to develop an algorithm which is able to select the best model for the data, both for failure and repair times, and then output important performance measures, in the context of maintenance management.

NOTATION AND DEFINITIONS

Failure Process

Consider a repairable system put into operation at time $t = 0$. The i th failure will happen at time T_i . Define $T_0 = 0$ and $X_i = T_i - T_{i-1}$, the time between failures (Ascher & Feingold, 1984). The observed sequence $\{T_i : i = 1, 2, \dots\}$ of failure times forms a point process, and $\{N(t) : t \geq 0\}$ is the corresponding counting process (Jokiel-Rokita & Magiera, 2011).

The counting process $N(t)$ is completely characterised by its intensity function (Gámiz & Lindqvist, 2016). Let H_{t-} represent the history of the process up to but not including t . The intensity function of a process is defined as:

$$\gamma(t|H_{t-}) = \gamma(t) \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr\{N(t + \Delta t) - N(t) = 1 | H_{t-}\}}{\Delta t} \quad (1)$$

which “gives the instantaneous probability of an event occurring at t , conditional on the process history” (Cook & Lawless, 2007). Also, define the mean function as expected value of $N(t)$, $\mu(t) = E[N(t)]$. Assume the derivative exists and denote it $\rho(t)$. This is the time rate of change of the expected number of failures and will be termed the rate of occurrence of failures (ROCOF), as per Ascher & Feingold (1984).

Following Lindqvist et al. (2003), let $\lambda(t)$ be a nonnegative function defined for $t \geq 0$, and let $\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(u) du$. The process T_1, T_2, \dots is called a trend-renewal process $\text{TRP}(F, \lambda(\cdot))$ if the transformed process $\Lambda(T_1), \Lambda(T_2), \dots$ is a renewal process $\text{RP}(F)$. That is, if $\Lambda(T_i) - \Lambda(T_{i-1})$, $i = 1, 2, \dots$, are independent and identically distributed random variables with distribution function F .

The cumulative distribution function F is the renewal distribution function and $\lambda(t)$ is the trend function. For uniqueness, the expected value of the renewal distribution is equal to 1. Therefore, one may simply state that the trend-renewal process is “a time-transformed renewal process having both the ordinary renewal process and the nonhomogeneous process as special cases” (Lindqvist et al., 2003), serving as a useful reliability model for repairable systems (Jokiel-Rokita & Magiera, 2011).

An important and very useful TRP is the so-called Weibull-Power Law process (WPLP) (Jokiel-Rokita & Magiera, 2011). The usefulness of this model comes from its special cases for different values of its parameters. Consider the $\text{TRP}(F, \lambda(\cdot))$ with

$$\lambda_W(t; a, b) = abt^{b-1}, a > 0, b > 0, \Lambda_W(t; a, b) = at^b \quad (2)$$

$$F_W(x) = F_W(x; \alpha) = 1 - \exp[-(\Gamma(1 + 1/\alpha)x)^\alpha] \quad (\alpha > 0) \quad (3)$$

where the renewal function F_W is the Weibull distribution with parametrisation resulting in expectation 1. Therefore, following Jökiel-Rokita & Magiera(2011), we may define: the TRP($F, \lambda(\cdot)$) with $\lambda(\cdot)$ and F given by equations (2) and (3), respectively, is called the Weibull-Power Law process (WPLP), denoted $WPLP(a, b, a)$.

Three special cases are identified: (1) $WPLP(a, b, 1) = NHPP(\lambda(t))$, i.e. it becomes the Power-Law process; (2) $WPLP(a, 1, 1) = HPP(a)$, that is the homogeneous Poisson process; (3) $WPLP(a, 1, 1) = RP(F_W(ax; a))$, i.e. a renewal process with interarrival times Weibull distributed (Jökiel-Rokita & Magiera, 2011). Given those special cases we say that the models are nested. Those result are important as it shows that the WPLP is a generalised version of very common repairable system models, which makes it a good candidate for a general-purpose modelling tool.

From the definition of a TRP and the discussion in Lindqvist et al. (2003) we are able to define the expected number of failures at time t for a general trend-renewal process. From the definition of a TRP($F, \lambda(\cdot)$) we have that $\Lambda(T_1), \Lambda(T_2), \dots$ is a renewal process on a time axis different than t , let it be $s > 0$. Let $N^*(s)$ be the counting process on that time scale. Therefore,

$$N(t) = N^*(\Lambda(t)) \quad (4)$$

and $N^*(s)$ is a renewal process. Let $\mu^*(s) = E[N^*(s)]$ be the renewal function for the renewal process $N^*(s)$ on the s -scale. We have then from equation (4),

$$E[N(t)] = E[N^*(\Lambda(t))] = \mu^*(\Lambda(t)) \quad (5)$$

Therefore, in order to find the renewal function for the TRP, we only need to calculate $\mu^*(s)$ on the s -scale, and then use equation (5) to go back to the t -scale. Any suitable numerical method may be used, in our specific situation the RS-Method was used (Xie, 1989).

Now, as we have shown how to calculate the expected number of failures, we may calculate another important measure: the ROCOI, defined as the rate of change in the expected number of failures at time t (Ascher & Feingold, 1984). Thus, we only need to differentiate the expected number of failures utilising standard finite difference where

we approximate the derivatives at the interior points by the centered finite differences and, at the end-points, we use one-sided differences (Nocedal & Wright, 2006).

In Franz et al. (2013), the authors explore general problems in the point and interval prediction in a trend-renewal process (TRP). Although they develop methods for a general TRP, for the purpose of this thesis we are interested in the predictor for the Weibull-Power Law Process (WPLP). The point predictor for the next time to failure in a general WPLP, T_{N_F+1} , given the maximum-likelihood estimates \hat{a} , \hat{b} and \hat{c} in the failure truncation scheme, is (Franz et al., 2013)

$$\hat{T}_{N_F+1} = \left(\frac{1}{\hat{a}} + T_{N_F}^{\hat{b}} \right)^{1/\hat{b}} \quad (6)$$

An interval predictor is also presented by the authors. The predictor is not the confidence interval for the point predictor \hat{T}_{N_F+1} and should not be interpreted as such. Following Franz et al. (2013), the estimated lower and upper bounds \hat{T}_L and \hat{T}_U , respectively, of the prediction interval for the next failure time T_{N_F+1} in the $WPLP(a, b, a)$ are given by

$$\hat{T}_L = \left[T_{N_F}^{\hat{b}} + \left(\frac{1}{\hat{\varphi}} \ln \frac{1}{1 - \varepsilon_1} \right)^{1/\hat{a}} \right]^{1/\hat{b}} \quad (7)$$

$$\hat{T}_U = \left[T_{N_F}^{\hat{b}} + \left(\frac{1}{\hat{\varphi}} \ln \frac{1}{\varepsilon_2} \right)^{1/\hat{a}} \right]^{1/\hat{b}} \quad (8)$$

where $\hat{\varphi} = [a\Gamma(1 + 1/\hat{a})]^{\hat{a}}$ and e_1 and e_2 determine the percentage of the confidence interval. For a 95% confidence interval, $e_1 = e_2 = 0.025$.

Repair Process

Assume the downtimes D_1, D_2, \dots are independent and identically distributed (i.i.d) random variables (r.v.) characterised by its repair distribution function $G(t) = \Pr\{D \leq t\}$. The repair rate is defined as $\rho_D(t) = g(t) / (1 - G(t))$. The most commonly used distribution in modelling

downtime data, assuming they are caused by items failures, are (Rausand & Høyland, 2003); exponential distribution, normal distribution, lognormal distribution.

Let $T \geq 0$ be a continuous r.v. with probability density function $g(t)$:

$$g(t) = \begin{cases} \nu \exp\{-\nu(t - \tau)\} & \text{for } t \geq \tau, \nu > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

This distribution is called the 2-parameter exponential distribution with location parameter τ and scale parameter $1/\nu$, denoted $T \sim \text{exp}(\tau, \nu)$. Although not realistic, the exponential distribution is often chosen for its tractability (Rausand & Høyland, 2003).

A random variable $T \geq 0$ is said to be normally distributed with mean τ and standard deviation ν , when its probability density function is

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\nu}} \exp\left\{-\frac{(t - \tau)^2}{2\nu^2}\right\} \text{ for } -\infty < t < \infty \quad (10)$$

A random variable $T \geq 0$ is said to be lognormally distributed with parameters ν and κ^2 , if $Y = \ln T$ is normally distributed. Thus,

$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\kappa t}} \exp\left\{-\frac{(\ln t - \ln \nu)^2}{2\kappa^2}\right\} & \text{for } t > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

Following Croarkin & Tobias (2012), a more general 3-parameter form of the lognormal includes the additional location parameter t . To obtain it we simply replace t by $(t - \tau)$ in equation (11).

According to Ben-Daya et al. (2016) and Rausand & Høyland (2003), the lognormal distribution is appropriate for modelling the downtimes for many different products. That is because when using the lognormal distribution, the repair rate increases up to a maximum, and thereafter decreases asymptotically down to zero as a function of the elapsed downtime, which makes practical sense.

Statistical Inference

The traditional approach to estimating model parameters is *via* the maximum likelihood principle (Agustin et al., 2008) which tells us how likely the observed sample is as a function of the possible parameter values (Devore, 2016).

Consider the Weibull Power-Law trend-renewal process denoted $WPLP(a, b, a)$. In Jokieli-Rokita & Magiera (2011), the authors developed the maximum likelihood (ML) estimators for the WPLP for any stopping time σ . They end-up with a non-linear system of equations that may be solved for the ML estimators $\hat{\varphi}$, \hat{b} and $\hat{\alpha}$ of the parameters φ , b and α , where $\varphi = [a\Gamma(1 + 1/\alpha)]^\alpha$.

Let D_1, D_2, \dots, D_n be a random sample from a probability distribution $g(t)$, the likelihood then is simply a product of the individuals probability density function (Devore, 2016). The Scipy (Virtanen et al., 2020) package available in Python (Van Rossum & Drake, 2009) allows us to fit a great variety of models, including the exponential, normal and lognormal models, based on the ML principle.

Model Selection

Selecting a suitable model from a set of candidates that is able to characterise the underlying data is a challenge (Cavanaugh & Neath, 2019). Model selection should be based on a well-justified criterion (Burnham & Anderson, 2004) that assesses whether a fitted model offers an optimal balance between goodness-of-fit and parsimony (Cavanaugh & Neath, 2019). One of the most used approaches is the "information-theoretic selection based on K-L information loss" (Burnham & Anderson, 2004). Such approach is represented by the so-called Akaike information criterion (AIC).

Akaike proposed a generalisation of the maximum likelihood principle. Such generalisation "allowed model selection to be firmly based on a fundamental theory" (Burnham & Anderson, 2004). The AIC is given by (Burnham & Anderson, 2004):

$$AIC = -2\log(L(\hat{\theta} | \text{data})) + 2K \quad (12)$$

where the first term is the maximum loglikelihood for the model and K is the number of parameters. When there are several models, the one with the minimal AIC is considered to be the best model (Ben-Daya et al., 2016).

MODEL DESCRIPTION

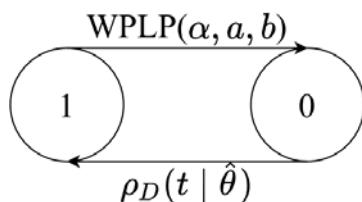
Mathematical Model

Assume the system is characterised by a two-state characterisation state variable (Ben-Daya et al., 2016). $S(t)$, which indicated the state or condition of such item, as a function of age. In such characterisation, $S(t)$ is binary valued such that,

- $S(t) = 1$ when the item is in the working/up state;
- $S(t) = 0$ when the item is in the failed/down state.

The failure process is governed by a Weibull-Power Law Process (WPLP) and the repair process may be modelled by an appropriate probability distribution, given the assumption of independent and identically distributed downtime data. This is illustrated in Figure 1.

Figure 1. Proposed model diagram (Authors).



The parameter estimates are all based on the Maximum-Likelihood (ML) Principle and the data is assumed to be collected under the failure truncation censoring scheme, while the selection method is using the Akaike information criterion (AIC). We will name the proposed model as the Failure-Repair Process (FRP).

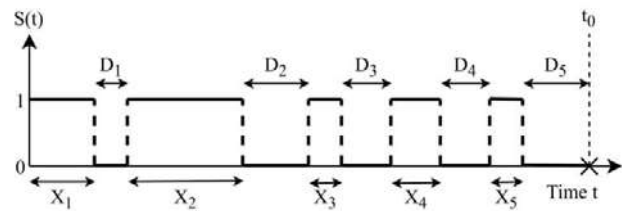
Simulation Model

Consider a repairable system for which the inter-failure times X_1, X_2, \dots follows a $WPLP(a, b, a)$, thus they are neither independent nor identically distributed. When a failure occurs, the repair begins immediately, and the times to repair D_1, D_2, \dots , follow a repair probability distribution $G(t) = \Pr\{D \leq t\}$. After finishing the repair, the system is put in operation again.

The simulation will begin with the system in an up-state. At time 0, we will wait for the first failure, that will occur after the first inter-failure time, X_1 . When that happens, the repair begins. It ends after D_1 units of time. This cycle is repeated, and a sample path as the one illustrated by Figure 2

is created. We wish to simulate the up until a fixed time, determined by the original failure data available.

Figure 2. Sample path (Authors)



According to Jokiel-Rokita & Magiera (2011), the $WPLP(a, b, a)$ process is generated according to the following formula for the jump times:

$$T_i = \left\{ T_{i-1}^b + \frac{1}{a\Gamma(1+1/\alpha)} \left[\ln \left(\frac{1}{1-U_i} \right) \right]^\alpha \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (13)$$

(13)

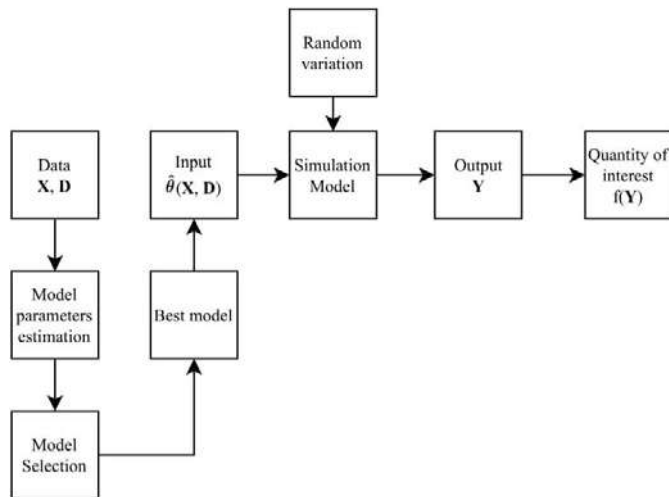
where $T_0 = 0$, and U_i are random numbers from the standard uniform distribution, $U(0,1)$. Again, for simulating the downtimes, the Scipy package (Virtanen et al., 2020) is able to generate random variates from normal and lognormal distributions.

Selection and Simulation Algorithm

To model the inter-failure time data, the tool uses the Maximum Likelihood Method in the WPLP model. The algorithm verifies the best fit between the 4 nested models before outputting the results. To do so it uses the Akaike information criterion (AIC). The use of the ML method also allows us to calculate the confidence intervals of each parameter (Devore, 2016), and those are available in the tool. The same idea applies to the treatment of downtime data. We calculate the ML-estimator for the exponential, normal and lognormal models, and then compare them using the AIC.

Those parameters are then used to feed the simulation algorithm, which will run M independent replications of the model. Assuming that each replication is comparable (Law, 2014) we may then analyse the data and get the reliability performance measures we are interested in. The algorithm flow is illustrated in Figure 3.

Figure 3. Algorithm flow (Adapted from Cheng (2006))



Output Data Analysis

Consider we want to calculate a general performance measure, $f(t| \text{data})$, at some point t in time given the available data. A general scheme is to fix the time t , at some interest value t^* , and calculate it across our M replications, such that we end-up with $\{f^{(m)}(t^*) : m = 1, 2, \dots, M\}$. Now, split the simulated data into K smaller samples of size $N_S = M/K$ and calculate the mean for each sample. According to the Central Limit Theorem (CLT) (Devore, 2016), this value resulting sample should converge to a normal distribution, with a mean equal to the average of the resulting sample that will converge to the expected value of the original sample of $f^{(m)}(t^*)$'s, regardless of its underlying distribution. The same holds true for the sample standard deviation when we divide it by the factor \sqrt{K} .

When items are replaced upon failure or preventively maintained, one is interested with the ratio at which units can operate, i.e., *availability* (Nakagawa, 2006). This may be quantified in different measures, such as the *point availability* and the *mean availability*. The former is simply the "probability that an item is in a state to perform as required at a given instant" (IEC, 2015). While the latter is defined as the "average value of the instantaneous availability over a given time interval (t_1, t_2) " (IEC, 2015).

For the point availability, using the idea that a probability may be regarded as a proportion, we may think of the point availability as the proportion of systems that are functioning at time t across the M replications. Thus, the point availability estimator, for a fixed time t , may be written as

$$\hat{A}(t) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \hat{A}^{(k)}(t) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{1}{N_S} \sum_{n=1}^{N_S} Y_n^{(k)}(t) = \frac{1}{KN_S} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_S} Y_n^{(k)}(t) \quad (14)$$

$$\therefore \hat{A}(t) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_S} Y_n^{(k)}(t) \quad (15)$$

where $Y_n^{(k)}(t)$ is the value of the state variable at time t for the n th samples of the k random sample. As for the mean availability estimator, the variance will be given by,

$$S^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (\hat{A}^{(k)}(t) - \hat{A}_t)^2 \quad (16)$$

and the standard deviation is given by the square root of the variance. Then, we may write an approximate $100(1-e)$ percent $(0 < e < 1)$ confidence interval for the mean at each time t ,

$$\hat{A}(t) \pm t_{K-1, 1-e/2} \sqrt{\frac{S^2}{K}} \quad (17)$$

and $t_{K-1, 1-e/2}$ is the upper $1-e/2$ critical point for the t distribution with $K-1$ degrees of freedom (Law, 2014).

In the case of the mean availability, when under the two-state characterisation, the state variable $S(t)$ may be used to calculate the mean availability in the time interval $[t, t + \Delta t]$. This is done by using the formula for the calculation of the time average of the sample path combined with the general formula for piecewise output processes. The natural estimator then becomes,

$$\bar{A}(0,t) = \bar{A}(t) = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^r (T_i - T_{i-1})Y(T_i) + (t - T_r)Y(T_r)$$

where

$$r = \operatorname{argmin}_j \{T_j \leq t < T_{j+1} : j = 1, 2, \dots, n\} \quad (18)$$

We calculate the mean for each of the K random samples with a fixed time t , such as:

$$\bar{A}_t^{(K)} = \frac{1}{N_S} \sum_{n=1}^{N_S} \bar{A}(t) \quad (19)$$

This results in the random variables $\bar{A}_t^{(1)}, \bar{A}_t^{(2)}, \dots, \bar{A}_t^{(K)}$ which are, according to the CLT, normally distributed. Therefore, the expected value of our random variable will simply be the average across K , that is

$$\bar{A}_t^{(M)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{A}_t^{(k)} \quad (20)$$

With variance calculated using the sample variance formula, that is

$$S^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (\bar{A}_t^{(k)} - \bar{A}_t^{(M)})^2 \quad (21)$$

Lastly, the standard deviation may be calculated by taking the square root of the variance. Now, calculate an approximate $100(1-e)$ percent ($0 < e < 1$) confidence interval for the mean at each time t , that is

$$\bar{A}_t^{(M)} \pm t_{K-1, 1-e/2} \sqrt{\frac{S^2}{K}} \quad (22)$$

and $t_{K-1, 1-e/2}$ is the upper $1-e/2$ critical point for the t distribution with $K-1$ degrees of freedom (Law, 2014).

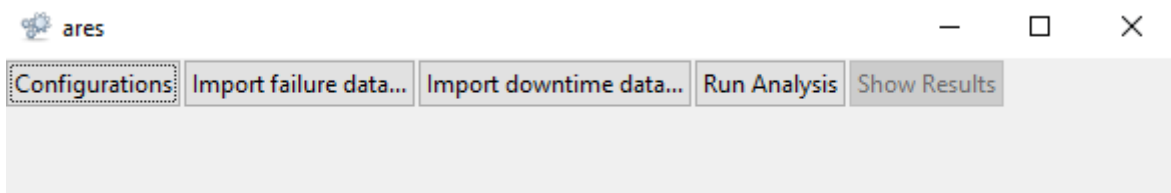
As the estimator for the point and mean availability may be noisy, one would be interested in getting point measures with a reduced level of noise and without biasing the value obtained. This is the premise of *data smoothing* (Press et al., 1996). A common method of data smoothing based on local least-squares polynomial approximation is the *Savitzky-Golay filters* which are able reduce noise while maintaining the shape and height of waveform peaks (Schafer, 2011). The Scipy (Virtanen et al., 2020) package, available in Python (Van Rossum & Drake, 2009), has a function for applying the Savitzky-Golay filter to a data set. The method has three main parameters: **x**, the data to be filtered; **window_length**, the length of the filter window, i.e., the number of coefficients; and **polyorder**, the order of the polynomial used to fit the samples.

Numerical Results

In this section we present some numerical results, as well as discuss the flow of the tool, as experienced by a general user. The data used was taken from Belinelli (2015) in which the author treated the data as generated by a nonhomogeneous Poisson process. In the present article, however, the data is modelled as a general WPLP and the algorithm decided what was the best model. Again, the available downtime models are the exponential, normal and lognormal ones.

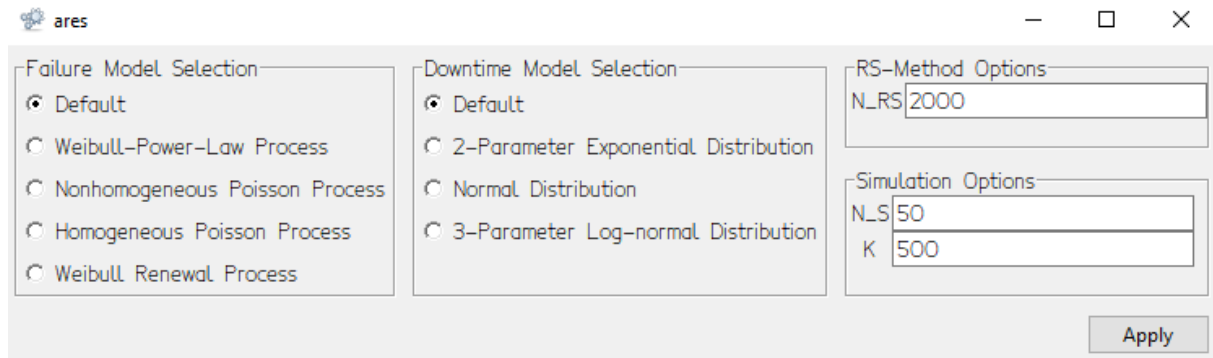
The tool consists of 3 windows, namely: **main**, **configurations** and **results**. The **main** window allocates the access to all others, besides also importing the failure and downtime data. The **configurations** one is responsible for setting some global parameters pertinent for the model. Lastly, the final output is displayed in **results**. The **main** window, shown in Figure 4, consists of 3 buttons, where the first one, from left to right, gives the user access to the **configurations** environment, displayed in Figure 5, and, very importantly, allows the user to import the data. After setting up the software parameters in **configurations** and importing the data, the user then may begin the analysis with the **Run Analysis** button. After the calculations are done, the **Show Results** button will become enabled and the user is able to display the **results** environment.

Figure 1. Main window (Authors)



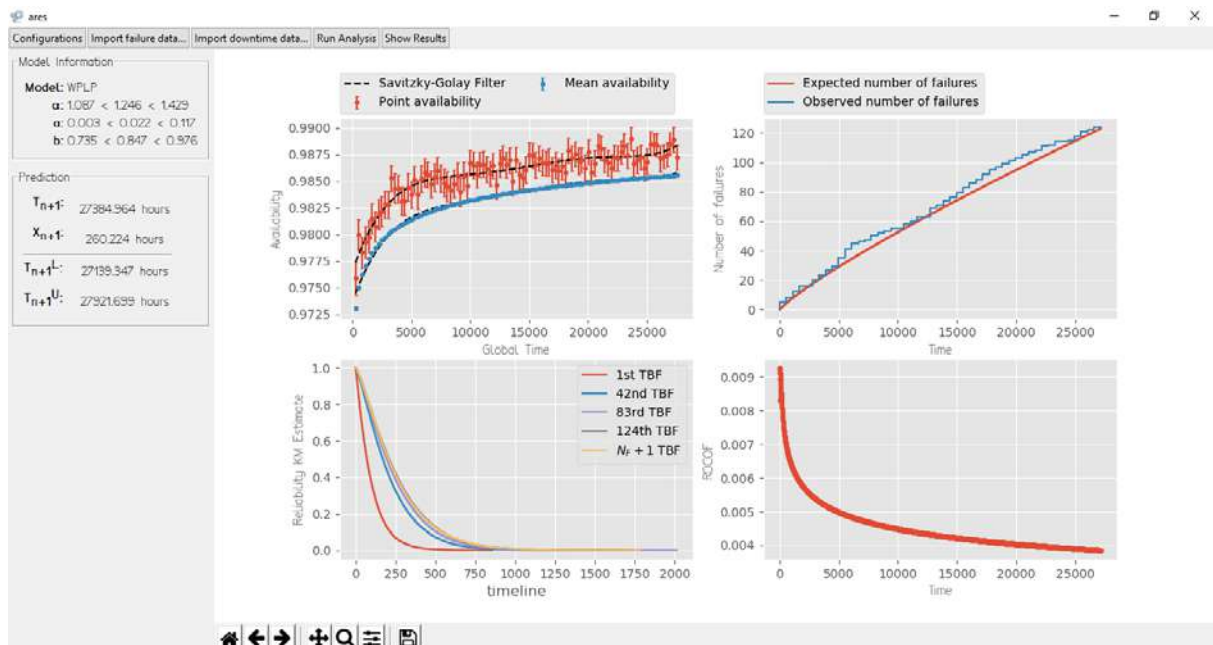
In the **configurations** window, presented in Figure 5, we may choose between a few states of model selection, that is, the user may continue to use the **Default** method, that utilises the Akaike information criterion for model selection, or have a predetermined failure and/or downtime model. Also, a few parameters are available for controlling the accuracy of both the RS-Method and the simulation model.

Figure 2. Configurations windows (Authors)



Lastly, **results** window, shown in Figure 6, displays all the Key Performance Indicators that are available in the tool: failure model parameters, failure prediction, point and mean availability, expected number of failures, rate of occurrence of failures and the Kaplan-Meier estimates for the reliability. The user is also able to save the plotted performance indicator, in the left-hand side corner, by clicking the floppy disk symbol.

Figure 3. Results window (Authors)



For our specific data, the results for the failure models are presented in Table 1. The selection of the WPLP as a model is then justified by the AIC, given that this is the model with minimal value of the statistic. From the reliability measures plotted, shown in Figure 6, we may draw a handful of conclusions.

Table 1. Fitted failure models parameters (Authors)

	\hat{a} [95% CI]	$\hat{\alpha}$ [95% CI]	\hat{b} [95% CI]	AIC
WPLP	1.240 [1.081, 1.423]	0.021 [0.002, 0.118]	0.848 [0.735, 0.978]	1549.39
NHPP	1.000 [1.000, 1.000]	0.019 [0.004, 0.091]	0.859 [0.719, 1.026]	1557.78
HPP	1.000 [1.000, 1.000]	0.005 [0.004, 0.005]	1.000 [1.000, 1.000]	1560.74
WRP	1.201 [1.048, 1.377]	0.005 [0.001, 0.019]	1.000 [1.000, 1.000]	1554.46

Looking at the comparison between the observed number of failures and the expected number of failures, calculated with the RS-method (Xie, 1989), with a number of subdivisions in the time mesh of the RS-Method equal to $n = 2000$, and total solution time equal to 10.9 seconds. The fitting seems pretty reasonable, and we may clearly see the time trend behaviour of our data.

The time derivative of the expected number of failures is the Rate of Occurrence of Failures (ROCOF), by definition. We are clearly in a decreasing ROCOF region, which tells us that the system is improving with time. Now, our resulting WPLP, have a Weibull renewal distribution with shape parameter 1.240 which implies an increasing failure rate. This means that the conditional intensity function will jump downwards at each failure, which may be an indicative of efficient maintenance, since the interventions will happen at high values of renewal failure rate, on average. Further, the general aging of the system, governed by an estimated time trend of the form $\hat{\lambda}(t) = 0.021 \cdot 0.848 \cdot t^{0.848-1} = 0.018 \cdot t^{-0.152}$

which decreases with t , introduces a decreased failure frequency.

Now, with the FRP sample paths, we may plot our approximate reliability using the Kaplan-Meier estimate. The main assumption for the calculation of this metric is that each time between failures (TBF), X_i , in our system is independent and identically distributed across replications. The Kaplan-Meier estimates are easily calculated with the help of the **lifelines** module (Davidson-Pilon et al., 2020).

The resultant reliability plot for our data is shown in Figure 6. It agrees with our past conclusions, as it shows that our system is improving with time, as the reliability had a big increase from X_1 to X_{42} . However, the reliability improvement is slowing down, as we can see by comparing the next time between failure of system $N_F + 1$ and 83rd, showing that the reliability functions does not differ greatly.

The final metrics we may extract from the failure model are the next time to failure. We have two estimators, analytically derived: a point predictor and an interval predictor, given in Equations (6) and (7), respectively. For our fitted WPLP(1.240,0.021,0.848) model, we get that:

$$\hat{T}_{N_F+1} = 27176.70 \text{ hours}$$

$$\hat{X}_{N_F+1} = 260.21 \text{ hours}$$

and, with 90% confidence:

$$[\hat{T}_L, \hat{T}_U] = [26941.89, 27592.81] \text{ hours}$$

$$[\hat{X}_L, \hat{X}_U] = [25.40, 676.32] \text{ hours}$$

Now, let us take a look at the downtime models results, present in Table 2. As before, we use the resulting AIC values for model selection. For our case, the lognormal model is the best one. Thus, our final downtime model is the 3-parameter lognormal.

Table 1. Fitted downtime models parameters (Authors)

	Shape	Location	Scale	AIC
Exponential	-	2.92	0.327	-25.262
Lognormal	0.851	2.905	0.232	-44.894
Normal	-	3.247	0.354	98.43

A more specific measure of reliability of repairable system is the availability (Rausand & Hoyland, 2003). In our specific case, the availability only confirms that the system is indeed improving, and have high up times, in general. With the point availability ranging from a minimal of 0.976 and a maximum of 0.988, for the case of $K = 2000$. For the mean availability estimator, we have a very well behave curve since with $K = 100$, we get a minimum value of 0.973 and maximum of 0.986. For completeness sake, one could argue that the Savitzky-Golay filter does not serve any good here. However, as a guarantee measure that

the data is interpretable in any circumstance, it is always plotted.

CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this paper we showcased a general-purpose tool for the analysis of repairable systems. With the mathematical models for the failure and repair processes together with a model selection framework, we proposed the final algorithm. The use of the Akaike information criterion (AIC) is what allows the tool to be completely automated, and glues the whole algorithm together. Although the software also works without automated selection, we believe that its main appeal is for users that do not know a lot about repairable system modelling.

Finally, we analysed a real application case using the proposed algorithm. All the different failure models were fitted, and the most suitable model was selected based on the AIC. The same is true for the downtime models. In the end, the models were a Weibull-Power Law TRP with a 3-parameter lognormal distribution. The analysed system showed a general improving behaviour and its parameters could be an indicative of efficient maintenance. In general, the system presented a very high availability, with some upward trend, which could be an indicative of posterior improvement.

Since this is a general tool, two main points may be improved upon: adding new imperfect repair processes, other than the WPLP; and using different model selection criterion. When it comes to efficiency, one could improve both the point availability and the reliability estimators proposed here, by more robust and general ones.

REFERENCES

- Agustin, M. Z. N., Agustin, M. A., & Peña, E. A. (2008). *Analysis of Recurrent Events from Repairable Systems*. American Cancer Society.
- Ascher, H., & Feingold, H. (1984). *Repairable systems reliability: modeling, inference, misconceptions and their causes*. Marcel Dekker, Inc, 1st ed.
- Belinelli, M. M. (2015). *Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: aplicação na indústria alimentícia*. Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo.
- BenDaya, M., Kumar, U., & Murthy, D. (2016). *Introduction to Maintenance Engineering: Modelling, Optimization and Management*. Wiley, Inc, 1st ed.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference. *Sociological Methods & Research*.
- Cavanaugh, J. E., & Neath, A. A. (2019). The akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*.
- Cheng, R. (2006). Validating and comparing simulation models using resampling. *Journal of Simulation*.
- Cook, R., & Lawless, J. (2007). *The Statistical Analysis of Recurrent Events*. Statistics for Biology and Health. Springer New York.
- Croarkin, C., & Tobias, P. (2012). Nist/sematech ehandbook of statistical methods.
- DavidsonPilon, C., Kalderstam, J., Jacobson, N., SeanReed, Kuhn, B., Zivich, P., Williamson, M., Abdealijk, Deepyaman Datta, FioreGartland, A., Parij, A., Willson, D., , Gabriel, Moneda, L., MoncadaTorres, A., Stark, K., Gadgil, H., , Jona, Karthikeyan Singaravelan, Besson, L., Peña, M. S., Anton, S., Klintberg, A., GrowthJeff, Noorbakhsh, J., Begun, M., Ravin Kumar, Hussey, S., Golland, D., & Jlim13 (2020). Camdavidsonpilon/ lifelines: v0.25.6. URL <https://zenodo.org/record/4136578>
- Devore, J. (2016). *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. Cengage Learning.
- Franz, J., JokielRokita, A., & Magiera, R. (2013). Prediction in trendrenewal processes for repairable systems. *Statistics and Computing*.
- Gámiz, M. L., & Lindqvist, B. H. (2016). Nonparametric estimation in trendrenewal processes. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 38–46.
- IEC (2015). International Electrotechnical Vocabulary (IEV) Part 192: Dependability. Standard, International Electrotechnical Commission.
- JokielRokita, A., & Magiera, R. (2011). Estimation of parameters for trendrenewal processes. *Statistics and Computing*.
- Law, A. M. (2014). *Simulation Modeling and Analysis*. McGrawHill Education.
- Lindqvist, B. H., Elvebakk, G., & Heggland, K. (2003). The trendrenewal process for statistical analysis of repairable systems. *Technometrics*, 45(1), 31–44.
- Nakagawa, T. (2006). *Maintenance Theory of Reliability*. Springer Series in Reliability Engineering. Springer London.
- Nocedal, J., & Wright, S. (2006). *Numerical Optimization*. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. Springer New York.
- Press, W. H., Teukolsky, S. a., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. (1996). *Numerical Recipes in Fortran 77: the Art of Scientific Computing. Second Edition*, vol. 1. 2nd ed.
- Rausand, M., & Høyland, A. (2003). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. Wiley, Inc, 2nd ed.
- Schafer, R. (2011). What is a savitzkygolay filter? [lecture notes]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 28(4), 111–117.
- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace.
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S. J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E., Kern, R., Larson, E., Carey, C. J., Polat, □., Feng, Y., Moore, E. W., VanderPlas, J., Laxalde, D., Perktold, J., Cimrman, R., Henriksen, I., Quintero, E. A., Harris, C. R., Archibald, A. M., Ribeiro, A. H., Pedregosa, F., & van Mulbregt, P. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in python. *Nature Methods*.
- Xie, M. (1989). On the solution of renewaltype integral equations. *Communications in Statistics Simulation and Computation*.

Dados dos autores

Alexandre Ribeiro (alexandreriheiro@alunos.utfpr.edu.br). Polytechnic Institute of Bragança, Portugal, Federal University of Technology – Paraná.

Carla A. S. Geraldés. Polytechnic Institute of Bragança, Portugal, Research Center in Digitalization and Intelligent Robotics – CeDRI.

João P. Almeida. Polytechnic Institute of Bragança, Portugal, Research Center in Digitalization and Intelligent Robotics – CeDRI.

David Lira Nunez. Polytechnic Institute of Bragança, Portugal.

Thalita Monteiro Obal. Polytechnic Institute of Bragança, Portugal

PROMOÇÃO DA SAÚDE NA ESCOLA: EDUCANDO ADOLESCENTES PARA A SAÚDE SEXUAL E REPRODUTIVA

Marina Luci Lima Gonçalves Margutti Aires

Adriane Aline Griebeler

Carine Amabile Guimarães

Rosane Teresinha Fontana

RESUMO: Este estudo teve o objetivo de oportunizar espaços de educação em saúde aos adolescentes quanto à saúde sexual e reprodutiva, de modo a contribuir para a prevenção às infecções sexualmente transmissíveis e à gravidez. Com abordagem qualitativa e descritiva, a pesquisa foi desenvolvida em uma escola da rede estadual de ensino fundamental de um município ao noroeste do Rio Grande do Sul. Os participantes foram estudantes, de ambos os sexos, do 6º ano ao 9º ano. Identificou-se que jogos simulados ou atividades lúdicas configuram-se como uma importante possibilidade para o desenvolvimento pessoal e social, sendo que o interesse pelo conhecimento permite exercitar comportamentos da vida real num universo simulado, podendo provocar mudanças de atitude e de comportamento. Percebeu-se a importância de trabalhar com uma abordagem dinâmica, que permita que os participantes se sintam à vontade com os orientadores e demais do grupo, para que temas de seu interesse sejam socializados, de modo a promover a saúde do adolescente.

Palavras-chave: Saúde pública. Sexualidade. Enfermagem.

ABSTRACT: This study aimed to provide opportunities for health education for adolescents regarding sexual and reproductive health, in order to contribute to the prevention of sexually transmitted infections and pregnancy. With a qualitative and descriptive approach, the research was developed in a state school of elementary education in a municipality in the north-west of Rio Grande do Sul. Participants were students, of both sexes, from the 6th year to the 9th year. It was identified that simulated games or recreational activities are an important possibility for personal and social development, and the interest in knowledge allows to exercise the behavior of real life in a simulated universe, which can cause changes in attitude and behavior. The importance of working with a dynamic approach was realized, which allows participants to feel at ease with the advisors and others in the group, so that topics of interest are socialized, in order to promote the adolescent's health.

Keywords: Public health. Sexuality. Nursing

INTRODUÇÃO

A escola é um ambiente de vínculo ideal para promoção do pensamento crítico e político dos jovens, na medida em que auxilia na produção de valores pessoais, concepções e modo de perceber o mundo, e interfere diretamente na produção social da saúde. Constitui-se como um espaço privilegiado de interações sociais, com crenças e valores culturais característicos desse ambiente (RIBEIRO; MESSIAS, 2016).

O Ministério da Saúde, ao tratar sobre a saúde na escola, afirma que essa dinâmica cultural é extremamente vigorosa, tornando-a um espaço de referências muito importante para crianças e adolescentes, que cada vez mais desenvolvem, no âmbito escolar, experiências significativas de socialização e vivência comunitária. A escola é considerada por alguns como o espaço de transição entre o mundo da casa e o mundo mais amplo. “Portanto, a cultura escolar configura e é instituinte de práticas socioculturais (inclusive comportamentos) mais amplos que ultrapassam as fronteiras da escola em si mesma [...]” (BRASIL, 2009, p.15).

Dessa forma, dimensionando a participação desses interlocutores/sujeitos em práticas cotidianas, é possível vislumbrar uma escola que forma cidadãos críticos e informados, habilitados para agir em defesa da vida e de sua qualidade. Nesse contexto, insere-se o Programa Saúde na Escola (PSE), do Ministério da Saúde e do Ministério da Educação, instituído em 2007, pelo Decreto Presidencial nº 6.286. O PSE vem para fortalecer ações na perspectiva do desenvolvimento integral e proporcionar à comunidade escolar a participação em programas e projetos que articulem saúde e educação e em outras redes sociais, para o enfrentamento das vulnerabilidades que comprometem o pleno desenvolvimento. Reconhece e acolhe as ações de integração entre saúde e educação já existentes e que têm impactado positivamente na qualidade de vida dos educandos e na promoção da saúde individual e coletiva (BRASIL, 2007).

O artigo 4º da Política Nacional de Promoção da Saúde (BRASIL, 2010) afirma que as ações em saúde previstas no âmbito do PSE consideraram a atenção, promoção, prevenção e assistência, que devem ser desenvolvidas articuladamente com a rede de educação pública básica e em conformidade com os princípios e diretrizes do SUS, podendo compreender, entre outras ações, a promoção da saúde sexual e da saúde reprodutiva.

Em consonância com essa política, pode-se dizer que ainda se observa a necessidade de

Avanços na área da educação sexual nas escolas brasileiras, uma vez que suas ações ainda estão pautadas em um tratamento moral e pedagógico. É importante reconhecer que algumas práticas vêm sendo desenvolvidas e que há um esforço por parte de profissionais, especialmente os da área da saúde, para abordar a temática no contexto escolar, mas ainda são muitas as barreiras que impedem a consolidação das práticas previstas nos parâmetros curriculares escolares, as quais precisam ser reconhecidas e superadas (FURLANETO *et al.*, 2018, p. 566).

Levando-se em consideração que a ocorrência de infecções sexualmente transmissíveis (ISTs), bem como a problemática da gravidez precoce são problemas que acometem uma grande parte da população jovem de ambientes escolares, este projeto de educação em saúde na escola, constitui, portanto, uma importante ação de intervenção e principalmente uma iniciativa que busca contribuir para uma melhor qualidade de vida dessa população, visto que envolve a educação para a sexualidade saudável.

Os dados da Pesquisa Nacional de Saúde do Escolar (PENSE, 2015) revelam que, dos alunos do 9º ano, 27,5% dos escolares brasileiros já haviam tido relação sexual alguma vez. Dos escolares do sexo masculino, 36% declararam já ter se relacionado sexualmente alguma vez, enquanto, entre os do sexo feminino deste mesmo grupo, o percentual foi de 19,5%. Dos 27,5% dos escolares que declararam já ter tido relação sexual alguma vez na vida, 61,2% responderam ter usado preservativo na primeira vez que tiveram relação sexual. Entre os escolares do sexo masculino, esse percentual foi de 56,8% e, entre os do sexo feminino, 68,7%.

Responderam ter usado preservativo na última vez que tiveram relação sexual, 66,2% dos escolares. Entre os do sexo masculino, esse percentual foi de 66,3% e, entre os escolares do sexo feminino, foi de 66%. Quanto a ter recebido informações sobre prevenção de gravidez, na escola, os resultados mostraram que 79,2% dos escolares responderam afirmativamente. Mais uma vez, foram as meninas (82%) que mais afirmaram ter conhecimento dessas informações, contra 76,3% dos meninos (BRASIL, 2015). Entre outros dados, esses aqui apresentados demonstram que o tema é um problema de saúde pública também.

Este projeto teve, ainda, como intuito, sensibilizar sobre a importância de uma vida sexual responsável, por meio do protagonismo dos es-

tudantes, na busca de respostas aos seus questionamentos sobre o tema. Assim, partiu da seguinte questão de pesquisa: quais as dúvidas e/ou questionamentos dos estudantes das séries finais do ensino fundamental sobre saúde sexual?

Isto posto, este estudo teve como objetivo oportunizar espaços de educação em saúde aos adolescentes quanto à saúde sexual e reprodutiva, de modo a contribuir para a prevenção às infecções sexualmente transmissíveis e à gravidez.

METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido em uma escola estadual de um município ao noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A escolha da temática deu-se pela solicitação da escola, localizada na área de abrangência de uma Unidade Básica de Saúde em que uma das autoras do projeto exerce a função de enfermeira. Optou-se por ampliar os cenários de intervenção e pretende-se, futuramente, abarcar todas as escolas municipais e estaduais do município.

Este projeto foi desenvolvido em parceria com a equipe da Política Municipal de IST/Aids da Secretaria de Saúde de um município situado ao noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Inicialmente, a escola foi visitada para a apresentação da proposta do projeto, quando os objetivos foram explicados. Depois de uma breve exposição sobre a proposta do projeto para cada turma, foi disponibilizado, pela escola, um envelope, onde os alunos podiam colocar perguntas sobre seus questionamentos e dúvidas para posterior análise.

Dentre os assuntos selecionados para a escolha, estavam: adolescência e sexualidade, anatomia e fisiologia do aparelho reprodutor feminino e masculino, infecções sexualmente transmissíveis, gravidez na adolescência, orientações sobre o uso de preservativo masculino e feminino. Após a análise das dúvidas, foram realizados encontros em que se debateram e discutiram os temas, propiciando um ambiente de esclarecimento de dúvidas e troca de experiências, por meio de rodas de conversa e/ou dinâmicas de grupo que envolveram os alunos de forma muito positiva.

Os participantes foram alunos de ambos os sexos que frequentam do 6º ano ao 9º ano do ensino fundamental, com ou sem filhos. Critérios de inclusão: ser estudante dessas séries, ter o consentimento dos pais ou responsáveis e estar presente no período da atividade. Para atin-

gir os objetivos propostos, utilizaram-se, além das dinâmicas propostas por Lopes *et al.* (s/d), as rodas de conversa, possibilitando a abertura de espaços de encontro, de escuta e de troca entre os adolescentes, como um espaço de diálogo coletivo, permitindo a participação deles na conversa, produzindo dados para novas discussões, visto que

As Rodas de Conversa consistem em um método de participação coletiva de debate acerca de determinada temática em que é possível dialogar com os sujeitos, que se expressam e escutam seus pares e a si mesmos por meio do exercício reflexivo. Um dos seus objetivos é de socializar saberes e implementar a troca de experiências, de conversas, de divulgação e de conhecimentos entre os envolvidos, na perspectiva de construir e reconstruir novos conhecimentos sobre a temática proposta (MOURA; LIMA, 2014, p. 101).

Nesse sentido, “participar coletivamente da construção de um saber, que vai além do saber de pura experiência feito [...] possibilita transformar-se em sujeito de sua própria história” (FREIRE, 2001, p. 35). As rodas de conversa foram realizadas na escola e agendadas conforme disponibilidade das acadêmicas e da escola abordada. Foi agendado previamente o dia para realização da abordagem, tanto com as rodas de conversa, como também com as dinâmicas previstas. Por solicitação das professoras, as atividades de educação em saúde foram realizadas com grupos de meninos e de meninas, separadamente, visto que as educadoras sentem dificuldades na abordagem do tema quando em conjunto.

Empiricamente, observa-se que, quando realizadas conversas com essa temática com ambos os sexos, as meninas ficam constrangidas em fazer perguntas e esclarecer dúvidas por estarem na presença dos meninos. Dessa forma, em alguns momentos, as rodas de conversa foram tratadas separadamente por grupos de meninas e de meninos, propiciando um ambiente descontraído, deixando-os mais à vontade para os questionamentos e dúvidas, minimizando constrangimentos que pudessem interferir no processo de interlocução. Em alguns momentos, todos participaram, conjuntamente, das dinâmicas de grupo.

O espaço para as atividades foi o auditório da escola, garantindo privacidade aos adolescentes. As temáticas seguiram um planejamento previamente construído, visando atender os objetivos propostos e atendendo às perspectivas/dúvidas dos educandos e educadores. As atividades tiveram duração média de 60 minutos. Nas rodas de conversa, utilizaram-se recursos

audiovisuais, como *slides*, vídeos, dinâmicas de grupo dentre outros recursos que puderam auxiliar na compreensão dos conceitos transmitidos.

Atividades lúdicas configuram-se em uma importante possibilidade para o desenvolvimento pessoal e social do homem, porque permitem o seu preparo para a vida futura, em uma situação menos estressante, além de incentivar a criatividade, a tomada de decisão e a diminuição do estresse ao enfrentar situações reais. O interesse pelo conhecimento permite exercitar comportamentos da vida real num universo simulado, podendo provocar mudanças de atitude e de comportamento. (SILVA; SILVA; GONÇALVES, 2014, p. 1.042).

Assim, baseando-se na metodologia participativa que “facilita os processos de reflexão pessoais, interpessoais, de ensino-aprendizagem, integrando o grupo e estabelecendo vínculos de afetividade e respeito mútuo”, procurou-se a valorização dos conhecimentos e experiências dos participantes, envolvendo-os na discussão, identificando e buscando soluções para problemas que emergem de suas vidas cotidianas, oportunizando a ressignificação de emoções, valores e conhecimentos. Utilizaram-se técnicas de dinâmica de grupo, jogos dramáticos e outros, nas quais os participantes, por meio de fantasia, puderam trabalhar situações concretas (LOPES *et al.*, s/d).

Através da metodologia psicodramática, realizou-se a dinâmica “Negociando o uso do preservativo”, que visava refletir sobre a negociação do uso desse produto como forma de prevenção, estimulando o grupo a refletir sobre a pertinência ou não dos argumentos utilizados, e a criar outros argumentos para as respostas. Foi realizada também a dinâmica “Concordo e discordo”, havendo uma discussão com o grupo com ideias trazidas, levando-os a refletir sobre os mitos e tabus que influenciam na prevenção das ISTs e as informações errôneas sobre essas doenças. Esse tipo de metodologia facilita a construção do conhecimento, trabalhando os seguintes aspectos: percepção de si mesmo, percepção do outro e manifestação da afetividade e sensibilidade (espontaneidade/criatividade) (LOPES *et al.*, s/d).

E através da metodologia de grupo realizou-se a dinâmica “Contatos pessoais”, que focava na transmissão das doenças, na qual cada adolescente deveria relacionar sexo seguro para não se ter ISTs e como as pessoas agem no comportamento de risco. Essa técnica didática da dinâmica de grupo visa alternar-se entre o trabalho individual com vistas ao trabalho em grupo, e o trabalho em grupo com vistas à motivação

individual, ou seja, o próprio grupo se auto analisa e se auto interpreta. O grupo motiva o indivíduo e o indivíduo motiva o grupo: o indivíduo aprende do grupo e o grupo, do indivíduo (LOPES *et al.*, s/d).

Também foi utilizado um recurso audiovisual, o vídeo “Só um minuto: sexo sem camisinha”, que tinha por objetivo fazer uma crítica a atitudes inconsequentes, considerando que grande parte da sociedade está mais preocupada com não ter filho do que com adquirir ISTs. Para finalizar a atividade, refletiu-se e discutiu-se sobre a maneira como se transmitem as doenças e suas formas de prevenção.

Visando atender aos aspectos éticos da pesquisa e tendo como base a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, que dispõe sobre as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos, o projeto foi encaminhado ao Comitê de Ética na Pesquisa da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Santo Ângelo, e aprovado – número do parecer 2.029.489. Aos alunos participantes da pesquisa, foi solicitada a assinatura do Termo de Assentimento. Aos pais ou responsáveis, foi solicitada a assinatura do Consentimento Livre e Esclarecido, com esclarecimentos sobre a livre participação de seus filhos e a garantia de não participarem se não quisessem participar da pesquisa. À instituição foi solicitada a assinatura da Declaração de Instituição Coparticipante.

RESULTADO E DISCUSSÕES

Pode-se inferir que a atividade extensionista possibilitou uma troca de experiências muito produtiva. Para a realização das atividades, foram utilizados métodos nos quais as vantagens técnicas de dinâmicas de grupo, debates e roda de conversa se devem à informalidade e permitem a comunicação fácil entre os membros. Em geral, desperta o interesse dos grupos porque a motivação já foi feita de antemão, através dos questionamentos realizados anteriormente pelos alunos.

Apesar de todas as modificações sofridas pela sociedade nas últimas décadas, a sexualidade se mantém rodeada de tabus e preconceitos, e tratar o tema nas escolas ainda gera muita preocupação. Em geral, a opção é não abordar, ou abordar de forma vaga, deixando as respostas no nível do senso comum. No entanto, o assunto já está lá, no dia a dia dos alunos (SAPUCAHY, 2014).

Sabe-se que a influência familiar reflete diretamente no entendimento e constituição da sexualidade do adolescente, e os saberes e comportamentos sexuais inseguros podem conduzir à vulnerabilidade, expondo-o a infecções e gravidez precoce e/ou indesejada. Sendo assim, pensar a sexualidade no entorno didático-pedagógico implica promover a saúde desse jovem, visto que educar para a sexualidade saudável é, também, uma finalidade da escola.

Tal papel, entretanto, cabe também a outros setores, tais como da saúde. É preciso avançar nessas práticas, visto que, além das questões que envolvem os valores dos profissionais de saúde, as debilidades do sistema para o acolhimento do adolescente nos serviços de saúde e de cuidados estão distanciados desse público. Igualmente, “a formulação de estratégias para que o adolescente possa adentrar livremente esses espaços, quando existentes, ainda ocorre de forma lenta” (SILVA *et al.*, 2016, p.5).

Buscava-se, nessa atividade extensionista, melhorar o processo decisório, a comunicação, os relacionamentos e auxiliar a quebrar tabus impostos pela sociedade, visando também a apresentar fatos, opiniões, assuntos em discussão em tom de conversa, de modo a suscitar o interesse dos alunos, criando neles responsabilidade, principalmente sexual. Acredita-se que o objetivo foi alcançado.

Vislumbrando o contexto da saúde do adolescente na sua integralidade e coletividade, a escola apresenta-se como um local propício para desenvolver ações educativas sobre a sexualidade, transmissão do HIV e outras DST, desmistificando alguns conceitos e valores que existem em torno desses assuntos. Para tanto, faz-se necessário um envolvimento entre profissionais de saúde, educadores, familiares e comunidade (CHAVES *et al.*, 2014, p. 49).

Dessa forma, mesmo demonstrando possuir informações sobre ISTs, os estudantes carecem de educação constante a fim de desenvolver conhecimentos e habilidades, os quais poderão determinar mudanças em seu comportamento sexual (CHAVES *et al.*, 2014). Nesse caso, a roda de conversa tem potência para facilitar o processo. Para Moura e Lima (2014), na roda de conversa ocorre o entendimento de informações que, caso não fossem afloradas através do interesse no diálogo e na partilha, poderiam não acontecer. Com isso, a roda de conversa se consolida como um instrumento de produção de dados, na medida em que se criam espaços de diálogo e de reflexão.

Portanto, as rodas de conversa representam uma estratégia de educação em saúde com

potência para transpor a simples transmissão da informação. Permitiu construir com o grupo, expressão de opiniões, debates, troca de ideias e convívio com diferentes saberes. Permitiu a problematização e reformulação de conceitos, opiniões, pontos de vista e comportamentos (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

Enfatiza-se que unir o processo de ensino e aprendizagem a partir da inclusão de graduanças de enfermagem no meio escolar contribuiu de forma substancial para a realização de ações preventivas na atenção à saúde e para uma formação profissional qualificada para as atuais demandas e perspectivas do sistema de saúde que requerem a formação de trabalhadores críticos e reflexivos, tendo como base a concepção ampliada de saúde e sua promoção com a efetivação de ações multidisciplinares e intersetoriais de prevenção e promoção da saúde, voltadas para o contexto escolar e população adolescente (SILVA; SILVA; GONÇALVES, 2014).

Ainda que o primeiro contato sexual não seja um evento planejado na maioria dos casos, ocorrendo em algum momento inesperado e sem preparação, a falta de conhecimento deixa o jovem exposto a riscos; sendo necessário adotar medidas de sensibilização e elaboração de planos de educação em saúde para abordar o jovem e esclarecer sobre os riscos (KRABBE *et al.*, 2016).

CONCLUSÃO

Observou-se que as rodas de conversa e dinâmicas facilitaram a participação, com êxito na realização das atividades propostas; adaptaram-se algumas e cumpriu-se o prazo para a sua execução.

O resultado foi satisfatório, pois a maioria dos alunos demonstrou compreensão dos assuntos tratados. Por conseguinte, também se observou que a sexualidade ainda é considerada um tabu, sendo, na maioria das vezes, um assunto constrangedor ou motivo de piada. Nas escolas e em casa, nem sempre é um assunto tratado abertamente, conforme se identificou nas oficinas, possivelmente por gerar “constrangimentos” entre as pessoas, por se tratar de um assunto íntimo.

Percebe-se, então, a importância de trabalhar com abordagens dinâmicas, que permitam aos participantes sentirem-se à vontade com os orientadores e demais do grupo, para que esses temas sejam esclarecidos de modo a prevenir agravos e, principalmente, sensibilizar para a responsabilidade sexual.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Decreto-lei nº 6.286, de 5 de dezembro de 2007. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 6 dez. 2007. Seção 1, p. 2.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa nacional de saúde do escolar*. Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, IBGE, 2016, p.132.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. *Política Nacional de Promoção da Saúde*, 3. ed., Brasília, Ministério da Saúde, 2010.
- CHAVES, A.C.P. *et al.* Knowledge and attitudes of a public school's adolescents on sexual transmission of HIV. *Rev. bras. enferm.*, v. 67, n. 1, Brasília jan./fev. 2014.
- FREIRE, P. *Política e educação*. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2001.
- FURLANETTO, M. F. *et al.* Educação sexual em escolas brasileiras: revisão sistemática da literatura. *Cadernos de pesquisa*, v. 48, n. 168, p. 550-571, abr./jun. 2018.
- GUIMARÃES, D. A. *et al.* Formação em saúde e extensão universitária: discutindo sexualidade e prevenção de IST/aids. *Rev. Bras. Pesq. Saúde*, Vitória, v. 19, n. 2, p.124-132, abr./jun., 2017.
- KRAEBBE, E. C. *et al.* Escola, sexualidade, práticas sexuais e vulnerabilidades para as infecções sexualmente transmissíveis (IST). *Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 4, n.1, p.75-84, 2016.
- LOPES, *et al.* Metodologias para o trabalho educativo com adolescentes. *Rev. Adolescer*, v. 3, n. 6, p. 144. Brasília- DF, s/d. Disponível em: <http://www.abennacional.org.br/revista/sumario.html>. Acesso em: 25 set. 2019.
- MOURA, A. F.; LIMA, M. G. A reinvenção da roda: roda de conversa, um instrumento metodológico possível. *Revista Temas em Educação*, João Pessoa, v. 23, n. 1, p. 98-106, jan./jun. 2014.
- RIBEIRO, V. T.; MESSIAS, C. M. B. O. A educação em saúde no ambiente escolar: um convite à reflexão. *Impulso*, p. 39-52, set./dez. 2016
- SAPUCAHY, L. Sexualidade. *Catálogo mensal Cultura de Ponta*. Rio de Janeiro: Grupo Afro Reggae, nov. 2014. Disponível em: <http://www.afroreggae.org/wp-content/uploads/2014/05/cultura-de-ponta-sexualidade.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- SILVA, P. A. C.; SILVA, M. A. I.; GONÇALVES, M. F. C., A interface da promoção de saúde e a educação sexual em uma escola de educação básica: relato de experiência. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, Araraquara, SP, v. 8 n. 4, 2014.
- SILVA, I. R. Ordens e desordens: complexidade do adolescer e saúde sexual: contribuições para enfermagem. *Rev. Enferm.*, Rio de Janeiro, v. 24 n. 2, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12957/reuerj.2016.14569>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- SOUZA, P. L. Projetos PET-Saúde e Educando para a Saúde: construindo saberes e práticas, *Rev. bras. educ. med.*, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, supl. 1, jan./mar. 2012.

Dados dos autores

Marina Luci Lima Gonçalves Margutti Aires (marinallgmargutti@gmail.com). Acadêmica do Curso de Enfermagem da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, campus Santo Ângelo/RS.

Adriane Aline Griebeler (adrialinegriebeler@hotmail.com). Acadêmica do Curso de Enfermagem da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, campus Santo Ângelo/RS.

Carine Amabile Guimarães (carine@san.uri.br). Mestre em Ciências da Saúde. Docente do curso de enfermagem da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, campus Santo Ângelo/RS.

Rosane Teresinha Fontana (rfontana@san.uri.br). Doutora em Enfermagem. Docente do Programa de Mestrado em Ensino Científico e Tecnológico e do curso de Enfermagem da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, campus Santo Ângelo/RS.

GESTÃO ÁGIL DA MEMÓRIA ORGANIZACIONAL: MUDANÇA NA CULTURA DA ORGANIZAÇÃO PARA MELHOR APROVEITAMENTO DO CAPITAL INTELECTUAL

Luiz Cláudio Gomes Maia

João Paulo Carneiro Aramuni

RESUMO: Este artigo apresenta uma abordagem sobre a memória organizacional do ponto de vista da contribuição da cultura ágil para um melhor aproveitamento do capital intelectual. O período de convergência tecnológica da atual sociedade da informação tem forçado organizações a adaptarem-se a novos métodos de gestão, organização e transferência de conhecimento. A análise de impacto do pensamento e filosofia ágil, para reduzir o desperdício de capital intelectual, ilustra as considerações teóricas sobre novas formas de absorção e transferência do saber, de convergência entre tácito e explícito, na construção da memória organizacional para, assim, tornar a organização cada vez mais competitiva na era da informação. Este estudo contribui com o preenchimento de uma lacuna teórica na compreensão da relação entre cultura ágil e capital intelectual. Na perspectiva aplicada, a pesquisa oferece contribuições para as organizações quanto à compressão da influência da gestão ágil na redução do desperdício de capital intelectual para que haja excelência na construção da memória organizacional.

Palavras-chave: Gestão Ágil; Cultura Ágil; Memória Organizacional; Capital Intelectual.

ABSTRACT: This article presents an approach on organizational memory from the point of view of the contribution of agile culture to a better use of intellectual capital. The period of technological convergence of the current information society has forced organizations to adapt to new methods of management, organization and knowledge transfer. The impact analysis of agile thinking and philosophy, to reduce the waste of intellectual capital, illustrates the theoretical considerations about new forms of absorption and transference of knowledge, of tacit and explicit convergence in the construction of organizational memory, in order to increasingly competitive in the information age. This study contributes to filling a theoretical gap in understanding the relationship between agile culture and intellectual capital. In the applied perspective, the research offers contributions to the organizations regarding the compression of the influence of the agile management in the reduction of the waste of intellectual capital so that there is excellence in the construction of the organizational memory.

Keywords: Agile Management; Agile Culture; Organizational Memory; Intellectual Capital.

INTRODUÇÃO

As organizações atuais estão inseridas em um ambiente complexo, turbulento, caracterizado pela alta competitividade, pela integração dos mercados internacionais e pela redução do ciclo de vida de produtos e serviços. Para Almeida (2006) esse panorama tem raízes na reestruturação econômica iniciada nos anos 80, a qual induziu a implementação de estratégias de reorganização das empresas. Ainda segundo o autor, essas estratégias objetivavam aumentar a flexibilidade da produção, da gestão e das ações de marketing, de forma a lidar com o ritmo veloz das mudanças no ambiente econômico, institucional e tecnológico, redefinindo os processos de trabalho. Introduziu-se um modelo de produção racionalizado, que buscava economizar em mão-de-obra através da automação de atividades, da eliminação de tarefas e da supressão de níveis administrativos.

Nesse contexto, a informação e o conhecimento se tornaram essenciais para o desempenho das organizações (CASTELLS, 2002; MCGEE e PRUSAK, 1994). A literatura organizacional que melhora o desempenho do negócio requer uma estrutura organizacional, sistemas de informação e estilo de gerenciamento que estão relacionados a uma estratégia de uma empresa específica (Miles and Snow, 1994).

Na atual era da informação, a competitividade das organizações está intimamente relacionada ao uso que fazem das informações que possuem. Neste meio, surgem discussões sobre a forma como as organizações podem gerenciar o conhecimento que detêm (CHOO, 2003; NONAKA e TAKEUCHI, 1997; STEWART, 1998); e sobre como podem armazená-lo para utilização futura, através de estruturas de retenção do conhecimento que buscam reproduzir as características da memória humana (WALSH e UNGSON, 1991; STEIN, 1995; LEHNER e MAIER, 2000). O presente artigo se insere no segundo contexto de pesquisa citado. Enquanto pesquisa no campo da informação, tem como objeto o estudo dos problemas advindos da prática de reter conhecimento, através do gerenciamento inquietante do capital intelectual, no ambiente corporativo, e de manipular os mecanismos subjacentes à “memória das organizações” através de métodos e pensamentos da chamada “gestão ágil de projetos”.

A utilização de metodologias ágeis agrega valor aos contratos, aos projetos e, principalmente, às pessoas e suas carreiras. A mudança comportamental e cultural por trás dos modelos ágeis é o primeiro passo para a evolução gra-

dativa da equipe, bem como do crescimento da própria organização. Pensar de forma ágil é o principal desafio que deve ser encarado diariamente por todos que defendam a ideia de aprendizado organizacional e conversão do conhecimento tácito em explícito.

REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura apresenta, inicialmente, definições relacionadas à memória organizacional; à gestão, cultura e filosofia ágil; ao capital intelectual e sua otimização através do pensamento ágil. Além disso, expõe a problemática relacionada a culturas ortodoxas de gestão em organizações e a forma como o capital intelectual muitas vezes é desperdiçado. Por fim, são expostos alguns estudos correlatos relacionados ao tema pesquisado.

Memória Organizacional

Partindo-se da ideia extensamente discutida na literatura de que as organizações são capazes de aprender (SENGE, 1990; ARGYRIS, 1999), de produzir conhecimento (NONAKA e TAKEUCHI, 1997; VON KROGH e ROOS, 1995) e de reter conhecimento (WALSH e UNGSON, 1991; ACKERMAN e HALVERSON, 2000), pode-se concluir que “A memória organizacional está então intrinsecamente ligada com o aprendizado organizacional” (ACKERMAN, 1998, p.3).

Nesse contexto surgem autores, principalmente de Ciência da Computação, de Sistemas de Informação e de Teoria das Organizações, que citam o termo memória corporativa ou memória organizacional. Tal termo passa a ser utilizado para explicar fenômenos verificados no ciclo de vida das organizações. Segundo Stein (1995, p.17),

A Ford Motor Company hoje é muito diferente da mesma companhia em 1970, mas, mesmo assim, muitas características permanecem, de forma que a Ford ainda é a Ford [...] A persistência das características organizacionais sugere que as empresas possuem meios de reter e transmitir informações do passado para futuros membros do sistema social.

Esse fato permite discutir duas possibilidades: a existência de uma memória da organização, o que pressupõe que a empresa é uma entidade capaz de lembrar, em algumas situações, de forma semelhante aos seres humanos; e a consideração de que a memória da organização é uma metáfora para representar a memória declarativa humana, relacionada a fatos e a even-

tos. Em relação à primeira possibilidade, surgem questões relativas à identificação dos mecanismos de que se vale a organização para aprender, produzir conhecimento e retê-lo. Em relação à segunda possibilidade, as questões dizem respeito à extensão e à expressividade da metáfora, conforme observa Izquierdo (2004, p. 15):

[...] embora seja interessante como metáfora, não é útil comparar ou assemelhar de maneira direta a memória dos animais, incluindo entre eles, nós, os seres humanos com a memória histórica ou com a memória dos computadores [...] as analogias não são válidas em termos de significado nem em nível de mecanismos.

Dessa forma, a definição da memória organizacional ainda é discutida e confrontada pelos autores na literatura. Percebe-se que não há caminho único bem difundido ou aceito para a construção dessa memória corporativa. Sendo assim, a presente pesquisa sugere a utilização de práticas, pensamentos e métodos de gerenciamento “ágeis” que propiciem um ambiente adequado à aprendizagem organizacional para as organizações que pretendem sobreviver no contexto informacional atual ou se tornarem mais competitivas e inovadoras.

Aprendizado, conhecimento e memória organizacionais têm sido estudados por diversas linhas de pesquisa acadêmica e sofrem, dessa forma, diferentes influências intelectuais. Existem pesquisadores de diversas áreas buscando entendimento sobre esses mecanismos, através de caminhos distintos. Para este estudo, considera-se o pensamento e a filosofia “ágil” para o incentivo ao aprendizado, difusão do conhecimento e convergência entre tácito e explícito nas organizações.

A noção de memória tem sido utilizada por diversos autores, que citam o termo memória organizacional utilizando-o como uma metáfora para explicar fenômenos verificados no ciclo de vida das organizações. A presente pesquisa busca enriquecer a discussão sobre a memória das organizações. Para tal, desenvolve-se uma ponte teórica entre memória organizacional e cultura ágil.

Gestão e Cultura Ágil

Uma vez reconhecida a necessidade de desenvolver produtos complexos, robustos e dentro de prazos cada vez mais competitivos, cabe às equipes definir metodologias eficazes que permitam entregas rápidas com qualidade. Sendo assim, é possível inserir um contexto de boas práticas especificamente direcionado à nova era da informação e do conhecimento.

Práticas estas que, apesar de terem nascido em ambientes como o de tecnologia da informação ou engenharia de produção, são expansíveis a qualquer segmento de negócio.

Metodologias ágeis apoiam-se em poucas regras rigidamente definidas e em princípios que oferecem certa flexibilidade para que as práticas do dia a dia sejam adaptadas (BASSI, 2008).

Gestão organizacional com base no ágil é uma área relativamente nova e há poucos dados históricos que podem ser utilizados para fazer estimativas. Até agora, praticamente nenhum tipo de métrica foi publicado e ainda há pouca discussão de como devem ser essas métricas. Com isso, estimativas são baseadas apenas em experiências com projetos similares. Contudo, quase todo projeto tenta alcançar um caráter inovador, oferecendo algo inusitado e diferente, principalmente em projetos de tecnologia. Isso acaba fazendo com que estimativas baseadas em experiência com outros projetos, apesar de úteis, estejam sujeitas a uma alta margem de erro.

O grande desafio então passa a ser adaptar as técnicas de gestão tradicionais existentes para a nova era da informação. Defende-se a tese de que a questão não seria optar entre teorias tradicionais e as ditas ágeis como proposto por alguns estudos. Ao contrário, a meta deve ser o equilíbrio entre os diferentes tipos de práticas, conforme as características específicas do projeto e da organização.

Este estudo adota essa filosofia e difere, portanto, de outras publicações que tratam como algo totalmente novo, alternativo ao gerenciamento de projetos tradicional e desassociado das técnicas, métodos e práticas existentes.

A temática de métodos ágeis desperta cada vez mais interesse de pesquisadores e estudantes. Diversos relatos descrevem o uso desses métodos. Dogs e Klimmer (2004) coletaram dados sobre as características do desenvolvimento em empresas e fizeram algumas recomendações para a melhoria baseados em métodos ágeis. Fransson e Klercker (2005) analisaram quantitativamente os impactos do uso de métodos ágeis na indústria sueca. Kalerme e Rissanen (2002) estudaram a evolução do desenvolvimento de software e proveram uma análise detalhada dos 12 princípios do Manifesto Ágil. Eles também apresentam um estudo de caso e apontam as adaptações que fizeram para tornar a abordagem ágil mais adequada ao projeto.

No Brasil, algumas dissertações também foram publicadas com temas relacionados. Bas-

si (2008) identifica e descreve 22 práticas para desenvolvimento ágil de software que podem ser adotados por equipes para aumentar o seu desempenho e/ou a qualidade do software. Sato (2007) apresentou formas eficazes de coleta e análise de métricas em projetos que utilizam métodos ágeis.

Além desses trabalhos, inúmeros artigos relatam casos de uso de metodologias ágeis na academia e na indústria com resultados que contribuem para fortalecer as evidências de eficácia dos métodos ágeis. Cockburn e Highsmith (2001), Sutherland et al. (2007), Karlsson e Ahlstrom (1996) e Sato et al. (2006) são exemplos de autores de trabalhos que incluem descrições de como as metodologias foram aplicadas e adaptadas para cada contexto de projeto, utilizando também novas práticas ou variações das práticas propostas originalmente por essas metodologias.

Amaral et al. (2011) realizaram algumas entrevistas com gestores e líderes de projetos para descobrir suas opiniões sobre as metodologias ágeis de forma geral. Em entrevista com Marcos Brefe, gerente-coordenador do Instituto ParqTec de Design – Fundação Parque Tecnológico de São Carlos –, o mesmo afirma que “trabalhar com multiprojetos de desenvolvimento de produtos inovadores, especialmente em empresas startups, envolve incerteza, altos riscos e, na maioria das vezes, poucos recursos. A abordagem ágil, com seus princípios mais flexíveis, baseados em iterações, simplicidade e entrega de valores, é uma excelente oportunidade. Mas, a literatura atual ainda é carente em informações concretas para a adoção efetiva dessa abordagem.”.

Para Daniel Tamassia Minozzi, membro do Conselho de Administração e Chief Operating Officer (COO) da Nanox Tecnologia S/A, “a criação de metodologias que facilitem a difusão do conhecimento e a ‘agilidade’ para o lançamento de novos produtos ou serviços é uma busca necessária para o bom equilíbrio em qualquer empresa. A experiência com gerenciamento ágil de projetos na nossa organização, uma Pequena Empresa de Base Tecnológica de elevado nível de interação da equipe, está demonstrando que é possível facilitar e ‘agilizar’ esse processo fundamental e estratégico.”.

De forma complementar, Henrique Rozenfeld, Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo, acredita que “depois da criação do corpo de conhecimento do Project Management Institute (PMI), o conhecido Project Management Body of Knowledge (PMBOK), parecia que todos os tipos de projetos poderiam ser geridos

com esses conceitos e ferramentas. Mas a prática mostra que nem sempre é assim.”.

No contexto do surgimento das metodologias ágeis, assim como em outros modelos de gestão em ascensão, segundo Drucker (1998, p. 135), pode-se dizer que:

[...] a maioria de nossas suposições sobre negócios, tecnologia e organizações, tem pelo menos 50 anos de idade. Elas sobreviveram ao seu tempo. Como resultado, nós estamos ensinando e praticando políticas que estão cada vez mais em desacordo com a realidade e, portanto, contra-producentes [...].

A expressão Gerenciamento Ágil de Projetos (APM) difundiu-se, em 2001, devido a um movimento iniciado pela comunidade internacional de desenvolvimento de sistemas de informação. Seus autores preconizaram que era preciso um novo enfoque de desenvolvimento de software, calcado na agilidade, na flexibilidade, nas habilidades de comunicação e na capacidade de oferecer novos produtos e serviços de valor ao mercado em curtos períodos.

Para Highsmith (2004), o conceito de agilidade, nesse contexto, pode ser entendido como a habilidade de criar e responder a mudanças, a fim de obter lucro em um ambiente de negócio turbulento.

Pode-se afirmar, então, que a escolha de uma metodologia eficiente é essencial para o sucesso de projetos de alta complexidade. Uma vez que as metodologias ágeis nasceram justamente nesse contexto, a adoção de uma delas torna-se uma saída inteligente para gestores de projetos em ambientes complexos.

A filosofia, pensamento e cultura por trás dos métodos ágeis podem ajudar as organizações a aprenderem de forma mais rápida e melhor, o que causará um impacto direto na construção e obtenção da memória organizacional.

Percebe-se, na prática, um total desperdício de conhecimento e um prejuízo em relação ao capital intelectual devido à adoção de práticas gerenciais tradicionais e ortodoxas. No Brasil, essa visão é transparente no caso de organizações públicas engessadas geridas pelo governo do estado. Dessa forma, abre-se um espaço para que o pensamento ágil comece a ser explorado também no setor público, e não somente no setor privado.

Capital Intelectual

O capital intelectual tem sido estudado por muitos pesquisadores no passado (Amir e

Lev, 1996; Edvinsson e Malone, 1997; Wen-Ying e Chang, 2005; Rehman et al., 2011; Ahmad e Mushraf, 2011) que investigaram a influência do capital intelectual no desempenho da empresa.

Stewart (1998) definiu o capital intelectual como o estoque total do conhecimento coletivo, informações, tecnologias, direitos de propriedade intelectual, experiência, aprendizagem organizacional e competência, sistemas de comunicação em equipe, relações com clientes e marcas capazes de criar valores para uma empresa.

O capital intelectual é “o conhecimento existente em uma organização que pode ser usado para criar uma vantagem diferenciada. Quanto mais inteligente, sofisticada e integrada à nova economia, mais chances a empresa terá em sobreviver e crescer” (REZENDE, 2002).

Os componentes do capital intelectual consistem em capital humano, capital estrutural e capital externo (cliente). Esta classificação é em geral admitida.

O capital humano é reconhecido como o maior e o mais importante ativo intangível de uma organização. De acordo com Schultz (1993), o termo “capital humano” foi definido como um elemento-chave na melhoria de ativos e empregados da empresa para aumentar a produtividade bem como manter a vantagem competitiva. O capital humano refere-se a processos que se relacionam com treinamento, educação e outras iniciativas profissionais para aumentar os níveis de conhecimento, competências, habilidades, valores e ativos sociais de um funcionário no qual levará à satisfação e desempenho do empregado e, eventualmente no desempenho da empresa (Marimuthu, et al., 2009).

O capital estrutural inclui todos os grandes conhecimentos não humanos em nas organizações no qual incluem bancos de dados, organogramas, manuais de processo, estratégias, rotinas e qualquer coisa cujo valor para a empresa seja maior que seu valor material. Roos et al. (1997: 42) descreve o capital estrutural como “o que resta na empresa quando os funcionários vão para casa durante a noite”.

O capital do cliente também é chamado de capital relacional e capital externo. Este capital refere-se aos relacionamentos da organização ou à rede de associados e à sua satisfação e lealdade à empresa (Akpinn e Akdemir, 1999). O capital do cliente apresenta o valor da relação de uma empresa com clientes, fornecedores e o resto da sociedade para consideração e afirma a lealdade das pessoas mencionadas na empresa (Chwalowski, 1997).

Para construir uma ponte teórica entre capital intelectual e gerenciamento ágil de projetos, basta observar a maneira como o pensamento ágil trata dois âmbitos, o humano (as pessoas, sejam elas colaboradores, clientes, fornecedores e parceiros), e o informacional, através da gestão da informação e do conhecimento.

Segundo Hamel e Prahalad (1995, p. 64):

[...] o capital intelectual sofre depreciação constante. [...] uma empresa retardatária: é uma empresa onde a gerência sênior não foi capaz de anular com rapidez suficiente a depreciação de seu capital intelectual e não investiu o suficiente na criação de um novo capital intelectual.

Conforme demonstrado por Hamel e Prahalad, rapidez na tomada de decisão e investimento na criação de um novo capital intelectual são pontos chave para o melhor aproveitamento do capital intelectual. A potencialização do capital intelectual só é viável se a cultura organizacional permitir e incentivar que o mesmo aconteça. É neste momento que se abre a lacuna teórica onde os conceitos de gestão tradicionais e ágeis se confrontam.

METODOLOGIA

Considerando o objetivo proposto para este estudo, que visa identificar as estratégias de beneficiamento e melhor aproveitamento do capital intelectual, através da filosofia e cultura ágil, a pesquisa classifica-se, quanto aos objetivos, como **exploratória**. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória envolve a proporcionar maior familiaridade com o problema (explicitá-lo). Pode envolver levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas experientes no problema pesquisado.

Em relação à abordagem do problema, a pesquisa caracteriza-se como **qualitativa**. De acordo com Oliveira (2000), o método qualitativo “sempre” foi considerado como método exploratório e auxiliar na pesquisa científica. No entanto, o autor destaca que o novo paradigma da ciência coloca o método qualitativo dentro de outra base de concepção teórica na mensuração, processamento e análise de dados científicos, atribuindo-lhe valor fundamental no desenvolvimento e consolidação da ciência em diferentes áreas.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa caracteriza-se como **bibliográfica**. Para Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A literatura sobre memória organizacional, filosofia e cultura ágil de gestão, e capital intelectual ajudaram a alcançar os objetivos deste estudo, através da metodologia de pesquisa utilizada, gerando os resultados que serão apresentados a seguir.

Relação entre métodos ágeis e memória organizacional

Fundindo-se os conceitos de gestão ágil de projetos e gestão estratégica da memória organizacional, pode-se pensar em um novo objeto de estudo denominado “Gestão Ágil da Memória Organizacional”.

Conforme explorado durante a revisão de literatura, o pensamento por trás dos métodos ágeis explora melhor o capital intelectual da organização em relação a outros métodos tradicionais e, portanto, cria um ambiente propício a proliferação de informações e um habitat natural à construção da memória organizacional.

O engessamento dos processos organizacionais e o excesso de burocracia enraizado em muitas corporações pode prejudicar de maneira direta o aproveitamento e a gestão do conhecimento e acabar gerando desperdícios intelectuais.

Sabendo que não existe um modelo “bala-de-prata” de gestão de projetos, cabe a organizacional reunir seus talentos para adaptar os métodos existentes, tradicionais ou ágeis, e decidir os caminhos a serem tomados. Seja qual for o modelo adotado, a filosofia e o pensamento por trás do ágil devem ser os mesmos. A difusão do conhecimento e a convergência do conhecimento tácito em explícito devem ser prioridade na gestão para que, assim, a excelência possa ser alcançada pelas organizações que pretendem se tornar mais competitivas no mercado.

Relação entre métodos ágeis e capital intelectual

Além do desenvolvimento e da manutenção das competências essenciais, a organização deve ser capaz de “desaprender” para evoluir. Muitas das ideias consolidadas nas empresas são baseadas em convenções não questionadas, em uma visão pobre das ameaças e das oportunidades e em uma estrutura gerencial ineficiente, mas não questionada. Hamel e Prahalad (1995, p. 69) consideram que “importante é a criação de uma organização `voltada para o desaprendizado’. [...] Para criar o futuro, uma empresa precisa desaprender pelo menos parte do passado. ”

Holan e Phillips (2004) discutem a concepção de “esquecimento organizacional”, avaliando as circunstâncias nas quais as organizações “esquecem”, “desaprendem” ou “perdem conhecimento”.

Os autores consideram o esquecimento organizacional como complementar ao aprendizado, ao conhecimento e à memória organizacionais. A falta de memória ou esquecimento pode ser prejudicial à organização.

Dessa forma, é de responsabilidade dos métodos ágeis adotados gerir, não somente o capital intelectual que deve ser aproveitado e transferido, mas, também, aquele que deve ser esquecido.

A correta gestão do capital intelectual tem impacto direto no valor de mercado da organização conforme visto durante a revisão de literatura. Dessa forma, cabe aos gestores decidirem de que maneira e, principalmente, quais métodos serão adotados para gerir corretamente o capital intelectual disponível.

O fato dos métodos ágeis serem voltados às pessoas e não aos processos, dá margem para a potencialização do capital intelectual bem com a difusão do conhecimento dentro da organização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou, além dos objetivos propostos, oferecer sua contribuição acadêmica, a partir de uma perspectiva mais abrangente, integradora, em busca da melhoria na compreensão das questões que envolvem o uso de metodologias ágeis, especificamente no âmbito de capital intelectual e construção da memória organizacional.

Foi observado que as metodologias tradicionais de processos e controle de negócio, por si só, não acompanham a rápida evolução e dinamismo da tecnologia. Sendo assim, faz-se necessário o uso de novos modelos processuais mais modernos e flexíveis que consigam atender as necessidades do negócio, sem engessar as práticas tecnológicas para que haja um melhor aproveitamento do capital intelectual presente na organização.

Dessa forma, as metodologias, então chamadas de ágeis, propõem a obtenção de resultados práticos em um período curto de tempo, tirando o foco do processo e colocando no produto. Para isso, foi preciso que os métodos ágeis dispensassem ou modificassem as etapas do processo e a forma como os envolvidos com o desenvolvimento realizam suas atividades. Muitas dessas mudan-

ças alteram características tidas como essenciais pelos métodos tradicionais, por isso, as abordagens ágeis tornaram-se polêmicas e não inspiram confiança nos mais conservadores.

Organizações que incentivam e reconhecem a importância da difusão e retenção do capital intelectual se enquadram perfeitamente como público-alvo das metodologias ágeis. Comunicação e trabalho em equipe são palavras-chave que têm levado empresas a melhorarem e expandirem seus negócios aumentando consigo a fama e os casos de sucesso das metodologias de gestão ágeis.

A teoria sobre gerenciamento ágil de projetos está amadurecendo a cada dia e irá amadurecer ainda mais, uma tarefa que cabe à nova geração de profissionais de gerenciamento de projetos. Atualmente, atravessa-se um período de transição entre um momento em que foi identificada a necessidade de mudança e foram estabelecidas as direções, para um momento de obtenção de respostas, práticas (técnicas, ferramentas e métodos) e a consequente reorganização dos corpos de conhecimento existentes.

O desafio é dar continuidade a essa evolução, adaptando as práticas e conceitos do ágil

aos diversos cenários de negócio existentes. Um detalhe importante e frequentemente observado durante a pesquisa foi a mudança de pensamento. Esta é um fator de extrema importância para o sucesso da implantação de qualquer modelo ágil em uma organização, uma vez que o pensamento conservador e inflexível dos gestores que utilizam apenas os métodos tradicionais tem se tornado um obstáculo desafiador para a proliferação da cultura ágil.

Em todos os setores organizacionais vive-se hoje um período de extrema adaptação, ou seja, somente as organizações mais aptas vão sobreviver no futuro próximo, e o conhecimento e a utilização, com as devidas contextualizações, dos métodos, sistemas e programas já testados por outras organizações são os meios que podem ajudar na busca da sobrevivência organizacional, com saúde, produtividade, competitividade e rentabilidade.

Como apontado no decorrer deste estudo, não há literatura extensa sobre a relação explícita entre métodos ágeis, capital intelectual e construção da memória organizacional. São oportunidades para avanços aos quais os pesquisadores e profissionais podem se dedicar.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, M. *Augmenting Organizational Memory; a field study of Answer Garden* (1998). Disponível em: <<https://goo.gl/gLhUKU>>. Acesso em: 15 de out 2017.
- ACKERMAN, M.S.; HALVERSON, C.A. *Reexamining organizational memory*. Communications of the ACM. [online]. v. 43, n.1, p. 59-64, 2000. Disponível em: <<https://goo.gl/9HHr7E>>. Acesso em: 15 de out. 2017.
- AHMAD, S. and Mushraf, A. M. *The Relationship between Intellectual capital and Business Performance: An empirical study in Iraqi industry*. International Proceedings of Economics Development & Research, 6, pp. 104-109. 2011.
- AKPINAR, A. T. and Akdemir, A. (1999), *Intellectual capital*, in third European Conference, pp. 332-340. Disponível em: <<http://joanes.opf.slu.cz/vvr/akce/turecko/pdf/Akpinar.pdf>> Acesso em 15 de Out. 2017.
- ALMEIDA, M. *Um modelo baseado em ontologias para representação da memória organizacional*. Disponível em: <<https://goo.gl/2TZmSw>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- AMARAL, D. et al. *Gerenciamento ágil de projetos: aplicação em produtos inovadores*. São Paulo: Saraiva, 2011.
- AMIR, E. and Lev, B. *Value-relevance of non-financial information the wireless communications industry*, Journal of Accounting and Economics, August-December Vol. 22, pp.3-30, 1996.
- ARGYRIS, C. *On organizational Learning*. 2nd. Oxford: Blackwell, 1999. 464p.
- BASSI, D. L. *Experiência com desenvolvimento ágil*. 2008, 170p. Dissertação - USP. São Paulo. Disponível em: <<http://goo.gl/ALYzUQ>>. Acesso em: 09 out. 2017.
- CASTELLS, M. *A sociedade em rede; a era da informação, sociedade e cultura*. 6.ed. São Paulo: Paz e Terra, 1999. 698p.
- CHOO, C.W. *A organização do conhecimento; como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões*. São Paulo: Senac, 2003. 425p.
- CHWALOWSKI, M. (1997), *Intellectual Capital Matters*, The Electricity Journal, 10 (10), pp.88-93.
- COCKBURN, A. e HIGHSMITH, J. *Agile software development. The Business of Innovation*. IEEE Computer, v. 34, n. 9, p. 120-2, set. , 2001.
- DOGS, C e KLIMMER, T. *An evaluation of the usage of agile core practices*. 2004, 98p. Master's thesis.— Blekinge Institute of Technology, Ronneby.

- DRUCKER, P. *Managing in the next society*. Forbes Magazine, 5 out. 1998, ed. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- EDVINSSON, L. and Malone, M. S. *Intellectual capital – Realizing your company's true value by finding its hidden roots*, Harper Business, New York. 1997.
- FRANSSON, O e KLERCKER, P. *Agile software development in Sweden: a quantitative study of developers' satisfaction and their attitude towards agile thinking*. 2005, 91p. Master's thesis. Jönköping University, Jönköping.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2008.
- HAMEL, G; PRAHALAD, G.K. *Competindo pelo futuro; estratégias inovadoras para obter o controle do seu setor e criar mercados de amanhã*. 10ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995. 377p.
- HIGHSMITH, J. *Agile project management: creating innovative products*. Boston: Addison-Wesley, 2004.
- HOLAN, P.M; PHILLIPS, N. *Remembrance of things past? The dynamics of organizational forgetting*. Management Science. [online]. v.50, n.11. p.1603-1613, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/g9sSTn>>. Acesso em: 13 de Out. 2017.
- IZQUIERDO, I. *Questões sobre memória*. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2004. 128p. (Coleção Aldus, 19).
- KALERMO, J. e RISSANEN, J. *Agile software development in theory and practice*. 2002, 188p. Master's thesis — University of Jyväskylä, Jyväskylä.
- KARLSSON, C e AHLSTROM, P. *The difficult path to lean product development*. Journal of Product Innovation Management. Hoboken, v.,13, n. 4, p. 283-95, jul. 1996.
- LEHNER, F; MAIER, R.K. *How can organizational memory theories contribute to organizational memory systems?* Information Systems Frontiers. [online]. v. 2, n. 3/4, p. 277-298, 2000. Disponível em: <<https://goo.gl/NZLgAu>>. Acesso em: 15 Out. 2017.
- MARIMUTHU, M., Arokiasamy, L. and Ismail, M (2009). *Human capital development and its impact on firm performance: Evidence from developmental economics*, The Journal of International Social Research, 2 (8), pp. 265-272.
- MCGEE, J., PRUSAK, L. *Gerenciamento estratégico da informação*. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 244p.
- MILES, R. E. and Snow, C. C. *Fit, Failure and the Hall of Fame*, Free Press, New York, USA. 1994.
- NONAKA, I; TAKEUCHI, H. *Criação de conhecimento na empresa; como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação*. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 358p.
- OLIVEIRA, Claudionor dos Santos. *Metodologia científica, planejamento e técnicas de pesquisa: uma visão holística do conhecimento humano*. São Paulo: LTR, 2000.
- REHMAN, W. U., Rehman, C. A. and Sahid, A. *Intellectual Capital Performance and Its Impact on Corporate Performance: an Empirical Evidence from Modaraba Sector of Pakistan*, Australian Journal of Business and Management Research, 1(5), pp. 08-16. 2011.
- REZENDE, Y. *Informação para negócios: os novos agentes do conhecimento e a gestão do capital intelectual*. Ciência da Informação, Brasília, v. 31, n. 1, p. 75-83, 2002.
- ROOS, J., Roos, G., Dragonetti, N.C. and Edvinsson, L. (1997), *Intellectual Capital, Navigating the New Business Landscape*, Macmillan Press Ltd., Basingstoke and London.
- SATO, D; BASSI, D; BRAVO, M; GOLDMAN, A; KON, F. *Experiences tracking agile projects: an empirical study*. Journal of the Brazilian Computer Society, Special Issue on Experimental Software Engineering, São Paulo, v. 12,3, p. 45-64, Dec. 2006.
- SATO, D. T. *Uso eficaz de métricas em métodos ágeis de desenvolvimento de software*. 2007, 155p. Master's Thesis — Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SCHULTZ, T.W. (1993), *The economic importance of human capital in modernization*, Education Economics, 1(1), pp.13-19.
- SENGE, P.M. *A quinta disciplina; arte, teoria e prática da organização de aprendizagem*. São Paulo: Best Seller, 1990. 352p.
- STEIN, E.W. *Organizational Memory: review of concepts and recommendations for management*. International Journal of Information Management. [online]. v. 15, n. 1, p. 17-32, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 15 Out. 2017.
- STEWART, T. A. *Capital intelectual; a nova vantagem competitiva das empresas*. 4ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998. 237p.
- SUTHERLAND, J; VIKTOROV, A; BLOUNT, J; PUNTIKOV, N. *Distributed scrum: agile project management with outsourced development teams*. In: 40TH ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS '07), 2007, Big Island. **Proceedings ...**IEEE Computer Society, 2007.
- VON KROGH, G.; ROOS, J. *Conversation Management*. European Management Journal. [online].v. 13, n. 4, p. 390-394, 1995. Disponível em: <<https://goo.gl/5rgrHD>>. Acesso em: 14 Out. 2017.
- WALSH, J.P.; UNGSON, G.R. *Organizational memory*. *The Academy of Management Review*. [online].vol. 16, n. 1, p. 57-91, 1991. Disponível em: <<https://goo.gl/DfEA32>>. Acesso em: 15 Out. 2017.
- WANG, W. Y. and Chang, C. *Intellectual capital and performance in causal models: evidence from the information technology industry in Taiwan*, Journal of Intellectual Capital, 6(2), pp. 222-236. 2005.

Dados dos autores

Luiz Cláudio Gomes Maia (luiz.maia@fumec.br). Formação: Doutor e mestre em ciência da informação pela UFMG. Bacharel em ciência da computação pela Fumec. Universidade Fumec.

João Paulo Carneiro Aramuni (joaopauloaramuni@fumec.br). Doutorando e mestre em sistemas de informação e gestão do conhecimento pela universidade Fumec. Bacharel em ciência da computação pela Fumec. Universidade Fumec.

ANTECIPAR UM MEGAPROJETO: APLICAÇÃO DO MÉTODO TODIM A CRONOGRAMAS PROBABILÍSTICOS

Yarly Queiroz de Lima

Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes

RESUMO: O objetivo central deste artigo é demonstrar como selecionar alternativas de antecipação da conclusão de um megaprojeto. Para isso, parte-se da avaliação crítica dos resultados obtidos através da aplicação do *Drive Risk Method* em um cronograma probabilístico, onde observou-se a presença de padrões de preferência descritos pela Teoria dos Prospectos. Para aprimorar a tomada de decisão concernente a esforços na antecipação do cronograma de um megaprojeto, inserido em um complexo contexto de riscos e incertezas, faz-se uso do método multicritério TODIM. Ao abranger outros aspectos na avaliação, este método levou à alterações na ordenação das alternativas, alterações estas que refletiram a variedade dos múltiplos aspectos considerados. Desta forma, compatível ao perfil de risco e preferências do tomador de decisão, a nova ordenação proporcionou melhores chances de alcançar a antecipação esperada.

Palavras-chave: Gerenciamento de megaprojetos. Análise de riscos. TODIM. Teoria dos prospectos. Apoio multicritério à decisão.

ABSTRACT: The main objective of this article is to demonstrate how to select alternatives for anticipating the completion of a megaproject. It starts with the critical evaluation of the results obtained through the application of Drive Risk Method in a probabilistic schedule, where the presence of preference patterns described by Prospect Theory was observed. To improve decision-making regarding efforts to anticipate the schedule of a megaproject, inserted in a complex context of risks and uncertainties, the TODIM multicriteria method is used in the analysis. By covering other aspects in the evaluation, the mentioned method provided suitable, realistic changes in the ordering of the alternatives. Compatible with the risk profile and preferences of the decision maker, the new ordering provided for better chances of achieve the expected schedule anticipation.

Keywords: Megaprojects Management. Risk analysis. TODIM. Prospect theory. Multi-criteria decision making.

INTRODUÇÃO

Este artigo descreve o uso do método TODIM (GOMES; LIMA, 1991; 1992) para seleção e ordenamento de contratos de fornecedores tipo EPC (*Engineering, Procurement and Construction*) de um megaprojeto em que possam ser negociadas cláusulas de antecipação. A princípio, apresenta-se a aplicação do *Drive Risk Method* (HULETT, 2009; 2017; HULETT; AVALON, 2018). Dessa aplicação, revela-se a propensão em assumir mais riscos quando se avalia a possibilidade de reaver as perdas de prazos ou antecipações. A presença de viés de preferências em ambientes com riscos e incertezas é o comportamento objeto de estudo da Teoria dos Prospectos (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979). Optou-se pelo método multicritério TODIM por sua formulação incorporar medidas de ganhos e perdas sobre todos os critérios, o que permite adequada correção desses vieses no processo decisório.

REFERENCIAL TEÓRICO

Drive Risk Method

Descrito por Hullet (2009, p.133-162), o *Drive Risk Method* (DRM) tem como principal produto a priorização e tratamento de riscos em

megaprojetos. Sua utilização exige a identificação e representação segregada de eventos discretos incertos de eventos variáveis intrínsecos em um cronograma. Em tal método, designa-se por incerteza a variação endógena da duração de uma atividade. Assim, são exemplos de incerteza: estimativas de improdutividade, dados históricos de duração de uma tarefa, imprecisão do levantamento de quantitativos de materiais, entre outros. Os eventos incertos têm características discretas, ou seja, são eventos com probabilidades de ocorrer ou não, sendo tratados, neste artigo, apenas por riscos. Eles apresentam-se em um projeto como uma ameaça (atrasos e custos extras) ou como uma oportunidade (antecipações ou reduções de custo).

No DRM, são utilizadas técnicas de simulação de Monte Carlo. O cronograma do projeto é transformado em um modelo de simulação probabilístico: as atividades incorporam estimativas de incerteza na sua duração (otimista, mais provável e pessimista); os riscos têm sua probabilidade de ocorrência e impacto estimados, sendo então associados às atividades no registro de riscos. Capturam-se ambos, riscos e incertezas, em *workshops* ou através de entrevistas com os líderes e gestores das atividades (HULETT, 2019). Nas figuras 1 e 2, é apresentada a aplicação de um exemplo hipotético do DRM no *software Oracle Primavera Risk Analysis*®.

Figura 1: Incerteza na duração das atividades – otimista, mais provável e pessimista



Fonte: Elaboração própria

Figura 2: Registro de riscos

ID	T/O	Title	Quantified	Probabili...	Impacted Task ID(s)
RISK1	T	Má compreensão e detalhes nas especificações	<input checked="" type="checkbox"/>	20%	A080,A110,A100,A120
RISK2	T	Falha no sistema	<input checked="" type="checkbox"/>	5%	A200
RISK3	T	Atraso no contrato de terceiros	<input checked="" type="checkbox"/>	60%	A030
RISK4	T	Indisponibilidade de recursos	<input checked="" type="checkbox"/>	60%	A190,A130,A070
RISK5	T	Excesso de entrega	<input checked="" type="checkbox"/>	40%	A220
RISK6	T	Falência de fornecedor	<input checked="" type="checkbox"/>	0%	A160
RISK7	T	Retrabalho na montagem e integração	<input checked="" type="checkbox"/>	40%	A170
RISK8	T	Falha no teste	<input checked="" type="checkbox"/>	20%	A210
RISK9	T	Alterações de design	<input checked="" type="checkbox"/>	60%	A130
RISK10	O	Reutilizar o trabalho de design anterior	<input checked="" type="checkbox"/>	60%	A070

Fonte: Elaboração própria

Com incertezas e riscos inseridos no modelo, o cronograma passa a ser probabilístico. Através da simulação de Monte Carlo, cada iteração produzirá uma data de término para o projeto, consistente com a rede lógica CPM (*Critical Path Method*). Como resultado, obtém-se o histograma função densidade de probabilidade das possíveis datas de conclusão do projeto.

Figura 3: Função densidade de probabilidade da finalização do projeto



Fonte: Elaboração própria

Por fim, realizam-se testes de sensibilidade em cada um dos riscos. Para Hulett (2017), deve-se considerar que cada um dos riscos é totalmente mitigado e que não causará atrasos, caso se trate de uma ameaça, ou que seja efetivamente explorado, para uma oportunidade. No teste de sensibilidade, observa-se o impacto na data probabilística de conclusão do projeto em que haja 80% de chance de sucesso (P80). Para cada sensibilidade gerada, é obtida uma nova data de conclusão P80, Tabela 1.

Tabela 1: Número de dias antecipados na data de conclusão P80

Cod.	Evento de risco totalmente mitigado	Dias antecipados P80
RSK5	Excesso de entrega de material	90
RSK3	Atraso no contrato de terceiros	42
RSK9	Alterações de design	37
RSK7	Retrabalho na montagem e integração	23
RSK4	Indisponibilidade de recursos	14
RSK2	Falha no sistema	12
RSK8	Falha no teste	6
RSK1	Má compreensão de detalhes na especificação	2
RSK6	Falência do fornecedor	0

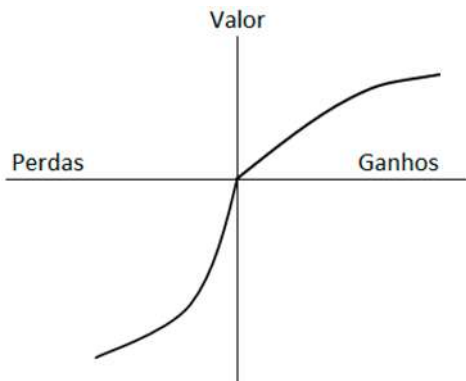
Fonte: Elaboração própria

Como resultado, obtém-se um ordenamento que, em essência, captura o efeito da rede de precedência. Pelo DRM, é possível perceber que os maiores benefícios são alcançados caso sejam empenhados esforços em eliminar os riscos RSK5 e RSK3 ao invés do RSK8 ou RSK1.

Teoria dos Prospectos

Concebida por Kahneman e Tversky (1979), essa teoria mostra os vieses de propensão e aversão a riscos quando um indivíduo é confrontado com expectativas de perdas e ganhos, respectivamente. Para seus criadores, a resposta para reaver perdas é mais agressiva quando comparada a ganhos. Em outras palavras, as pessoas se comportam de forma a preferir alternativas mais arriscadas quando o que está em jogo é o confronto com uma alternativa de perda certa, porém de menor valor. O comportamento oposto, de aversão ao risco, é percebido quando o indivíduo se depara com escolhas entre uma alternativa que possibilite ganhos elevados *versus* ganho certo de menor valor (TVERSKY; KAHNEMAN, 1981). Assim, a Teoria dos Prospectos propõe que a função de valor é geralmente côncava para ganhos e normalmente convexa para perdas, e mais íngreme para perdas do que para ganhos, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Função de valor hipotética



Fonte: Kahneman e Tversky (1979)

Os perfis diferentes na curva de função de valor denotam o comportamento de maior aversão a riscos quando confrontado com possibilidades de ganhos. Por outro lado, a curva de inclinação mais acentuada na região das perdas reflete propensão à exposição a riscos.

Método TODIM

O método TODIM, acrônimo de TOMada de Decisão Interativa Multicritério, foi introduzido por Gomes e Lima (1991; 1992) e, desde então, tem se revelado um meio eficiente de incorporar a Teoria dos Prospectos ao apoio multicritério à tomada de decisão, em especial na ordenação global de alternativas em presença de múltiplos critérios.

O método faz uso de comparações por pares entre critérios (C_1, C_2, \dots, C_m), sendo um destes identificados como critério de referência. Critérios qualitativos são convertidos em escalas numéricas e, a partir disso, todos são normalizados.

Na aplicação do método, precisa-se identificar, para o problema de decisão em pauta, as n alternativas (A_1, A_2, \dots, A_n) que serão ordenadas em relação aos m critérios (C_1, C_2, \dots, C_m). Gomes e Rangel (2009) pontuam que, definidos esses elementos, é solicitado a especialistas que estimem, para cada um dos critérios qualitativos c , a contribuição de cada alternativa i para o objetivo associado ao critério.

Com avaliação de todas as alternativas em relação a todos os critérios, tem-se a matriz de avaliação. Esses valores ainda precisam ser normalizados. Para isso, divide-se o valor atribuído a cada alternativa pela soma dos valores das alternativas em um mesmo critério.

Tabela 2: Matriz normalizada de alternativas versus critérios

Alternativas	Critérios					
	C_1	C_2	...	C_j	...	C_m
A_1	P_{11}	P_{12}	...	P_{1j}	...	P_{1m}
A_2	P_{21}	P_{22}	...	P_{2j}	...	P_{2m}
...
A_i	P_{i1}	P_{i2}	...	P_{ij}	...	P_{im}
...
A_n	P_{n1}	P_{n2}	...	P_{nj}	...	P_{nm}

Fonte: Gomes e Rangel (2009)

Para finalizar a aplicação do método TODIM e obter o ranqueamento das alternativas, é preciso calcular as matrizes parcial e final de dominância. O método utiliza uma função utilidade multiatributo aditiva para determinar a dominância entre as alternativas:

$$\delta(A_i, A_j) = \sum_{c=1}^m \phi(A_i, A_j) \quad \forall (i, j) \quad (1)$$

Onde:

$$\phi(A_i, A_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{rc}(P_{ic} - P_{jc})}{\sum_{c=1}^m w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) > 0 \quad (2) \\ 0 & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) = 0 \quad (3) \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{c=1}^m w_{rc})(P_{jc} - P_{ic})}{w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) < 0 \quad (4) \end{cases}$$

$\delta(A_i, A_j)$ é a medida de dominância da alternativa A_i sobre a alternativa A_j ;

m é o número de critérios;

c é qualquer critério, para $c=1, \dots, m$;

w_{rc} é a divisão de w_c por w_r onde r é o critério de referência;

P_{ic} e P_{jc} são as *performances* da alternativa A_i e A_j em relação a c ;

θ é o fator de atenuação das perdas.

Pode-se ainda simplificar a formulação originalmente apresentada por Gomes e Lima (1991; 1992). Dado que w_{rc} é a divisão de w_c por w_r , $\sum_{c=1}^m w_{rc}$ pode ser reformulado como $\sum_{c=1}^m \frac{w_c}{w_r}$. Sendo a soma dos pesos normalizados igual a 1, tem-se que $\sum_{c=1}^m w_{rc} = \frac{1}{w_r}$. Assim, é possível reescrever a notação matemática de $\phi(A_i, A_j)$ de forma simplificada:

$$\phi(A_i, A_j) = \begin{cases} \sqrt{w_c(P_{ic} - P_{jc})} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) > 0 & (2') \\ 0 & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) = 0 & (3') \\ \frac{-1}{\theta} \sqrt{\frac{P_{jc} - P_{ic}}{w_c}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) < 0 & (4') \end{cases}$$

$\phi(A_i, A_j)$ representa a parcela de contribuição do critério c para a função $\delta(A_i, A_j)$. Se $P_{ic} - P_{jc}$ é um valor positivo, indica-se ganho na função valor, e será, portanto, utilizada a expressão (2'). Para $P_{ic} - P_{jc}$ igual a zero, $\phi(A_i, A_j)$ terá valor nulo (3'). Por fim, sendo $P_{ic} - P_{jc}$ um valor negativo, há perda na função de valor, sendo utilizada a expressão (4'). O fator de atenuação θ altera a curvatura da função de valor da Teoria dos Prospectos no quadrante negativo.

Obtidas as matrizes parciais de dominância de cada critério, é possível, através da soma dos elementos das diversas matrizes, chegar à matriz final de dominância. Uma função utilidade global para cada alternativa i normalizada:

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)}{\max \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)} \quad (5)$$

São características essenciais do método multicritério TODIM:

- na sua origem, foi concebido para escolher, classificar ou ordenar alternativas na presença simultânea de critérios de avaliação quantitativos e qualitativos, uma vez que o problema de decisão é claramente formulado, uma matriz de avaliação é formada e os pesos dos critérios são produzidos;
- a matriz de avaliação (ou seja, a matriz de decisão) é construída estimando os valores brutos das medidas de desempenho para cada alternativa com relação a cada critério de avaliação;
- esses valores estimados de medidas de desempenho são, em seguida, normalizados, dividindo cada valor pelo maior valor para cada critério particular; a forma como essa normalização é realizada minimiza a possibilidade de ocorrência de reversão de *rank*, patologia bem conhecida em alguns métodos de MCDA (*MultiCriteria Decision Analysis*) (AIRES; FERREIRA, 2018);
- os pesos de critérios de avaliação são gerados por técnicas usuais de elicitação de pesos;

- os cálculos são realizados usando uma função de valor de multiatributo; essa função é construída em partes, com suas descrições matemáticas reproduzindo a função de ganho ou perda da Teoria do Prospecto; as entradas para construir tais funções de valor vêm de comparações de pares de critérios de avaliação ou de pesos de categorias de classificação;

- a função de valor multiatributo do TODIM agrega todas as medidas de ganhos e perdas sobre todos os critérios, portanto, usando a ideia de uma função de diferença aditiva (TVERSKY, 1969);

- a função de valor multiatributo do TODIM permite calcular uma matriz de dominância relativa que leva à conveniência geral de cada alternativa;

- é um método discreto e não compensatório no sentido de que as vantagens de uma alternativa ou critério de avaliação não podem ser negociadas contra as desvantagens de outro;

- os cálculos do método TODIM original baseiam-se em álgebra linear muito elementar e a análise de sensibilidade realizada com uma planilha simples permite testar a robustez dos resultados; esses cálculos foram apresentados em várias referências (GOMES; MACHADO; RANGEL, 2013; GOMES; RANGEL, 2009; GOMES; RANGEL; MARANHÃO, 2009);

- o fator de atenuação de perdas pode ser um parâmetro bastante útil na perspectiva de um tomador de decisão; esse fator está relacionado a diferentes formas no quadrante negativo da função de valor da Teoria dos Prospectos e é usado em análises de sensibilidade;

- através de suas várias extensões, o método TODIM pode lidar com dados de entrada nítidos ou imprecisos, completos ou incompletos (SUDHA; GOMES; VIJAYALAKSHMI, 2020; ZINDANI; MAITY; BHOWMIK, 2020).

Ao adotar o método TODIM na avaliação de riscos em cronogramas probabilísticos, obtém-se um ponto de vista diferente do simples efeito na rede de precedência de atividades, haja vista o tratamento de critérios quantitativos e, principalmente, qualitativos proporcionado por ele. Como principal efeito, tem-se a atenuação da propensão a assumir riscos na oportunidade de antecipação, ou reversão das perdas de prazo do método DRM, como é visto a seguir.

METODOLOGIA

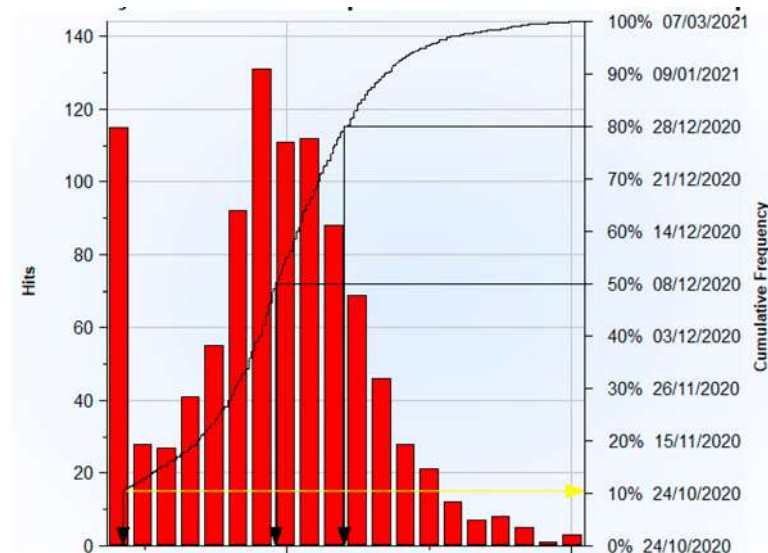
Abordagem implementada

Em um megaprojeto, presente no portfólio de uma empresa de grande porte, identificou-se a oportunidade de antecipar a sua conclusão, de forma a capturar a expectativa de aumento das receitas futuras. O megaprojeto encontra-se em execução e possui vinte e dois contratos do tipo EPC em andamento. Faz-se necessário negociar aditamento contratual de cláusulas de bonifica-

ção, a ser paga caso a antecipação seja alcançada. Os aspectos jurídicos dessa solução não fazem parte do tema do presente artigo.

Realizaram-se análises com a adoção do DRM para identificação e seleção dos contratos viáveis de antecipar. Através de reuniões de *brainstorming* entre membros multidisciplinares do projeto, foram identificados riscos e incertezas no cronograma do projeto. A figura 5 apresenta o resultado das simulações de Monte Carlo no cronograma probabilístico, obtidas através do *software* Oracle Primavera Risk Analysis®.

Figura 5: Função densidade de probabilidade da entrada em operação



Fonte: Elaboração própria

Foi adotada a oportunidade de antecipação em cada um dos vinte e dois contratos e verificou-se o efeito na data P80 de entrada em operação. A antecipação da conclusão mostrou-se possível apenas em nove contratos. Antecipar qualquer um dos outros 13 contratos não surte efeito no resultado probabilístico alvo P80.

Tabela 3: Número de dias antecipados na data de conclusão P80

Alternativa	Contrato	Antecipação em dias (P80)
A ₁	Contrato A	-48
A ₂	Contrato B	-45
A ₃	Contrato C	-37
A ₄	Contrato D	-28
A ₅	Contrato E	-28
A ₆	Contrato F	-15
A ₇	Contrato G	-14
A ₈	Contrato H	-12
A ₉	Contrato I	-7

Fonte: Elaboração própria

O resultado do DRM indica ser vantajoso negociar a cláusula de antecipação com os contratos A, B, C, ..., seguindo, assim, sucessiva e prioritariamente.

Abordagem proposta

Ao considerar apenas o efeito probabilístico da rede de precedência CPM como ferramenta de apoio à tomada de decisão, não são considerados outros aspectos que podem influenciar de sobremaneira a estratégia de antecipação adotada.

Para a equipe de gerenciamento do megaprojeto, os contratos situados no topo do *ranking* da Tabela 3 são problemáticos. Entende-se que esses são os contratos mais arriscados no momento da análise, como se mostra na seção "Alternativas" deste artigo. O resultado da aplicação do DRM mostrou semelhança com a Teoria dos Prospectos ao indicar maior propensão a tomar riscos para a recuperação de atrasos em cronogramas.

Sugere-se a adoção do método TODIM como forma de aprimorar a tomada de decisão, uma ferramenta eficaz de ordenamento e escolha de contratos EPC para uma iniciativa de conclusão antecipada do escopo.

Definição dos critérios

Foram consultados os especialistas técnicos multidisciplinares envolvidos no megaprojeto e na elaboração da abordagem implementada para a definição de critérios abrangentes e relevantes ao problema de decisão.

Critério 1 – Antecipação: critério quantitativo, obtido a partir da aplicação do DRM. Mede a função objetivo do problema proposto, a antecipação na data de conclusão de um megaprojeto. Será medido em número de dias.

Critério 2 – Técnica EPC: critério qualitativo que determina a capacidade técnica da contratada em elaborar e implementar planos construtivos mais complexos que o originalmente proposto em contrato.

Tabela 4: Escala critério C₂

Capacidade técnica EPC	Pontuação
Elevado nível de capacidade técnica – referência no setor em que atua	4
Boa performance do plano construtivo proposto	3
Plano construtivo executado com dificuldade, mas dentro dos prazos contratuais	2
Baixa performance do plano construtivo proposto	1

Fonte: Elaboração própria

Critério 3 – Viabilidade financeira: critério qualitativo que avalia a capacidade financeira da contratada EPC de implementar planos executivos que trarão fluxo de caixa negativo no contrato no curto prazo. Como o bônus por antecipação só será pago no atingimento do prazo negociado, a contratada EPC terá que arcar com os custos de salários em turnos extras, novas tecnologias, entre outros.

Tabela 5: Escala critério C₃

Viabilidade financeira	Pontuação
Alta – baixo endividamento e disponibilidade de capital próprio	3
Média – linha de crédito disponível e boa realização físico x financeiro contratual	2
Baixa – fornecedor sem linha de crédito, com elevado nível de endividamento ou com realização físico x financeiro contratual ruim	1

Fonte: Elaboração própria

Critério 4 – Desempenho histórico: critério qualitativo que visa medir o desempenho histórico da empresa EPC em projetos anteriores.

Tabela 6: Escala critério C₄

Histórico	Pontuação
Excelente histórico de performance	4
Bom histórico de performance	3
Performance histórica média, sem atrasos significativos	2
Performance histórica ruim	1
Ausência de dados históricos	0

Fonte: Elaboração própria

Os critérios C₁, C₂, C₃ e C₄ são de maximização; em outras palavras, quanto maior a pontuação obtida pela alternativa em análise relativa ao critério, melhor é a sua *performance*.

Peso dos critérios

Da equipe multidisciplinar, a mesma envolvida na definição dos critérios, capturou-se a relevância de cada critério no problema de decisão. Na Tabela 7, apresenta-se o resultado da avaliação direta dos especialistas, bem como sua normalização.

Tabela 7: *Ranking* de critérios

Critério	Potencial melhoria no VPL	Pontuação	Peso
C ₁	Dias de antecipação	5	0,385
C ₂	Capacidade técnica EPC	4	0,308
C ₃	Viabilidade financeira	1	0,077
C ₄	Desempenho histórico	3	0,231

Fonte: Elaboração própria

Alternativas

A seguir, breve resumo do contexto dos contratos de cada uma das alternativas A₁, A₂, ..., A₉ de antecipação.

- A₁ – Contrato com risco de atraso considerável devido à sua complexidade construtiva, *performance* aquém do esperado e ausência de dados históricos de *performance*.
- A₂ – Contrato com expectativa média para baixa de atraso. Seu escopo está 70% concluído e performando ligeiramente abaixo do planejado.
- A₃ – Contrato com escopo extremamente complexo. Empresa contratada é detentora de tecnologia proprietária. *Performance* compatível com os prazos contratuais e boa condição financeira.
- A₄ – Contrato tem pouco risco de atraso adicio-

nal. Atrasos anteriores fizeram com que ele se tornasse crítico, consequência da rede de precedência. Encontra-se próximo da conclusão e seu escopo, apesar de ter baixa complexidade, exige mão de obra intensiva.

- A_5 – Contrato com risco de atraso considerável. Apesar de o escopo ter baixa complexidade construtiva, a empresa contratada passa por dificuldades financeiras. *Performance* aquém do esperado e histórico ruim de *performance* anterior.
- A_6 – Contrato tem pouco risco de atraso. Índices de *performance* estão dentro do esperado. Apesar dos balanços não sinalizarem dificuldades financeiras, a empresa contratada constantemente tem solicitado adiantamentos para honrar compromissos de curto prazo. Escopo de média complexidade e trecho crítico de execução depende de janela climática sazonal.
- A_7 – Contrato possui escopo de complexidade média. Sua execução interfere em todos os outros contratos. Empresa tem excelente histórico de *performance* em contratos anteriores.
- A_8 – Contrato possui risco de atraso. Escopo de complexidade construtiva média a baixa. Apesar de os dados históricos da empresa mostrarem consistência e bons resultados em contratos anteriores, a empresa contratada está se recuperando financeiramente.
- A_9 – Contrato de escopo simples, possui pouco risco de atraso. Índices de *performance* estão dentro do esperado e boa situação financeira por parte da contratada.

A avaliação de cada alternativa de antecipação da conclusão do projeto sob a perspectiva de cada critério apresenta-se na Tabela 8.

Tabela 8: Avaliação de alternativas x critérios

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	48	1	2	1
A_2	45	2	3	3
A_3	37	4	3	3
A_4	28	3	2	2
A_5	28	1	1	1
A_6	15	3	2	0
A_7	14	3	2	4
A_8	12	4	1	3
A_9	7	3	3	4

Fonte: Elaboração própria

Já na Tabela 9, constam os valores normalizados. Para tanto, deve-se dividir o valor de avaliação de uma alternativa pelo somatório das avaliações de todas as alternativas do mesmo critério.

Tabela 9: Matriz normalizada de avaliação de alternativas x critérios

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	0,205	0,042	0,105	0,048
A_2	0,192	0,083	0,158	0,143
A_3	0,158	0,167	0,158	0,143
A_4	0,120	0,125	0,105	0,095
A_5	0,120	0,042	0,053	0,048
A_6	0,064	0,125	0,105	0
A_7	0,060	0,125	0,105	0,190
A_8	0,051	0,167	0,053	0,143
A_9	0,030	0,125	0,158	0,190

Fonte: Elaboração própria

Aplicam-se as fórmulas matemáticas (1) e (5) do método TODIM para a ordenação final e obtenção da matriz de valores normalizados. Ver Tabela 10.

Tabela 10: Matriz de Valor Global Normalizada

Alternativa	Normalizado $\theta=1$		Normalizado $\theta=5$		Normalizado $\theta=10$		
	ξ	R	ξ	R	ξ	R	
A_1	-3,2109	0,4687	6	0,4880	6	0,5069	6
A_2	-0,5487	0,9202	2	0,9177	2	0,9153	2
A_3	-0,0779	1,0000	1	1,0000	1	1,0000	1
A_4	-2,0288	0,6692	5	0,6297	5	0,5908	5
A_5	-5,9754	0,0000	9	0,0000	9	0,0000	9
A_6	-3,8991	0,3521	7	0,3072	7	0,2629	8
A_7	-1,6858	0,7274	4	0,6909	4	0,6550	4
A_8	-4,2302	0,2959	8	0,3049	8	0,3138	7
A_9	-0,9548	0,8513	3	0,8045	3	0,7584	3

Fonte: O autor (2020)

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao modelar as oportunidades de conclusão antecipada através do DRM, identificou-se que as melhores alternativas seriam atingidas negociando cláusulas de antecipação em contratos mais arriscados. À luz da Teoria dos Prospectos (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979), percebeu-se que, na tentativa de reverter atrasos e perdas de receita futura do megaprojeto, uma maior propensão a aceitar riscos envolveu o time de especialistas do projeto.

O ordenamento sugerido pelo TODIM, Tabela 10, revela as melhores escolhas sob o ponto de vista dos diversos critérios identificados pelos envolvidos na tomada de decisão. Através dos testes de sensibilidade realizados para valores de θ iguais a 1, 5 e 10, constata-se a robustez do modelo de apoio à tomada de decisão. Somente quando o fator de atenuação de perdas assume o valor 10, percebe-se mudança na ordenação entre o 7º e 8º colocados.

CONCLUSÕES

Simulações em cronogramas de megaprojetos podem ser complexas e costumam deman-

dar tempo de análise e recursos para aquisições de *softwares* especialistas ou serviços de consultoria. No entanto, é possível obter apoio à tomada de decisão por meio de métodos matemáticos simples como o TODIM (GOMES; LIMA, 1991; 1992). Através deste, é possível avaliar aspectos de comportamento em ambiente de riscos (TVERSKY; KAHNEMAN, 1981).

O *Drive Risk Method* (HULETT, 2009) é um meio para identificação, análise e estratégia de atuação do gerenciamento de riscos em um projeto. Através da sua aplicação, foi possível identificar quais contratos podem ter a oportunidade de conclusão antecipada.

O método TODIM se mostrou mais eficaz por considerar, em sua formulação, outros critérios que não apenas o efeito na rede de precedência CPM. Através dele, foi possível capturar as preferências dos envolvidos na formulação do suporte e apoio à tomada de decisão, valorar itens qualitativos, como *performance* histórica, capacidade técnica e viabilidade financeira. Em síntese, a abordagem do método TODIM contempla as múltiplas dimensões do problema analisado.

REFERÊNCIAS

- AIRES, R. F. DE F.; FERREIRA, L. The Rank Reversal Problem in Multi-criteria Decision Making: A Literature Review. *Pesquisa Operacional*, v. 38, n. 2, p. 331–362, ago. 2018.
- GOMES, L. F. A. M.; LIMA, M. M. P. P. Todim: Basic and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, v. 16, n. 4, p. 113–127, 1991.
- GOMES, L. F. A. M.; LIMA, M. M. P. P. From modelling individual preferences to multicriteria ranking of discrete alternatives: A look of prospect theory and additive difference model. *Foudation of Computing and Decision Sciences*, v. 17, n. 3, p. 171–184, 1992.
- GOMES, L. F. A. M.; MACHADO, M. A. S.; RANGEL, L. A. D. Behavioral multi-criteria decision analysis: the TODIM method with criteria interactions. *Annals of Operations Research*, v. 211, n. 1, p. 531–548, 2013.
- GOMES, L. F. A. M.; RANGEL, L. A. D. An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. *European Journal of Operational Research*, v. 193, n. 1, p. 204–211, 2009.
- GOMES, L. F. A. M.; RANGEL, L. A. D.; MARANHÃO, F. J. C. Multicriteria analysis of natural gas destination in Brazil: An application of the TODIM method. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 50, n. 1–2, p. 92–100, 2009.
- HULETT, D. T. *Practical Schedule Risk Analysis*. 1. ed. [s.l.] Routledge, 2009.
- HULETT, D. T. *Modern Methods of Schedule Risk Analysis using Monte Carlo Simulations*, 2017. Disponível em: https://www.nsf.gov/attachments/190458/public/Modern_Methods_of_Schedule_Risk_Analysis_Hulett.pdf. Acesso em: 22 dez. 2020.
- HULETT, D. T. Journey Map to a More Mature Schedule Risk Analysis (SRA) Process. *AACE International Cost Engineering*, v. 2, p. 8–17, 2019.
- HULETT, D. T.; AVALON, A. *Integrated Cost and Schedule Risk Analysis*, 2018. Disponível em: <http://www.long-intl.com/books-articles-presentations-of-interest/>.
- KAHNEMAN, B. Y. D.; TVERSKY, A. Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk. *Econometrica*, v. 47, n. 2, p. 263–291, 1979.
- SUDHA, A. S.; GOMES, L. F. A. M.; VIJAYALAKSHMI, K. R. Assessment of MCDM problems by TODIM using aggregated weights. *Neutrosophic Sets and Systems*, v. 35, p. 78–98, 2020.
- TVERSKY, A. Intransitivity of preferences. *Psychological Review*, v. 76, n. 1, p. 31–48, 1969.
- TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. The Framing of Decisions and the Psychology of Choice. *American Association for the Advancement of Science*, v. 211, n. 4481, p. 453–458, 1981.
- ZINDANI, D.; MAITY, S. R.; BHOWMIK, S. Complex interval-valued intuitionistic fuzzy TODIM approach and its application to group decision making. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2020.

Dados dos autores

- Yarly Queiroz de Lima** (engyarly@gmail.com). Engenheiro de Produção Mecânica, Mestrando em Administração pelo Centro Universitário Ibmecc.
- Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes** (luiz.gomes@professores.ibmec.edu.br). Doutor em Filosofia, professor titular do Centro Universitário Ibmecc.

SIG WEB SIGABEM: FERRAMENTA PARA AUXILIAR NA TOMADA DE DECISÃO

Anielise da Conceição Campêlo

Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa

Vânia Soares de Carvalho

Aida Araújo Ferreira

Frederico Carvalho

Lúcia Recena

RESUMO: Cerca de 1 bilhão de pessoas enfrentam desafios de acessibilidade para participação social por possuírem deficiência, seja ela mental, física, intelectual, visual, auditiva ou múltipla. Os sistemas de transporte público urbano tradicionais, em geral, não levam em conta essa realidade, necessitando, portanto, de um modelo capaz de reconhecer as diferenças e buscar a igualdade por meio da justiça social na gestão do tráfego urbano. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos com o desenvolvimento do SIG Web, visando permitir e facilitar a consulta e análises de dados espaciais das pessoas com deficiência pelos gestores do transporte público da Região Metropolitana do Recife. Assim, é possível fazer projeções de aumento de demanda e elaborar as resoluções para elas, seja através da modificação do itinerário, do número de linhas, do deslocamento e estado de paradas de ônibus, bem como propor a formulação de políticas públicas voltadas às pessoas com deficiência.

Palavras-chave: Geotecnologias. Acessibilidade. Transporte público. Pessoa com deficiência.

ABSTRACT: Around 1 billion people face accessibility challenges for social participation because they have disabilities, be it mental, physical, intellectual, visual, hearing, or multiple. Traditional urban public transport systems, in general, do not take this reality into account, therefore needing a model capable of recognizing differences and seeking equality through social justice in the management of urban traffic. The objective of this work is to present the results obtained with the development of the GIS Web, aiming to allow and facilitate the query and analysis of spatial data of people with disabilities by public transport managers in the Metropolitan Region of Recife. Thus, it is possible to make projections of increased demand and prepare resolutions for them, either by modifying the itinerary, the number of lines, the relocation and condition of bus stops, as well as proposing the formulation of public policies aimed for people with disabilities.

Keywords: Geotechnology. Accessibility. Public transport. People with disabilities.

INTRODUÇÃO

No mundo existem cerca de 1 bilhão de pessoas com algum tipo de deficiência, e 80% delas residem em países em desenvolvimento, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2012). A Pesquisa Nacional de Saúde (IBGE, 2013) estimou que existem 200,6 milhões de brasileiros deficientes que residem em domicílios particulares permanentes. Ou seja, não estão incluídos nesse número pessoas que vivem em asilos, orfanatos e presídios, entre outros. Também não foram consideradas as áreas com características especiais ou com pouca população, como as aldeias indígenas. A falta de informações a respeito desse grande grupo de pessoas dificulta o planejamento e a implementação de políticas públicas destinadas a melhorar sua qualidade de vida (BERNARDES; ARAÚJO, 2012).

As pessoas com deficiência (PCD) são mais vulneráveis a sofrerem algum tipo de violência, abuso, discriminação e se sentirem desapareladas (ADIRON, 2008). Junto a isso, enfrentam desafios de acesso e desempenho nas escolas, serviços de saúde e transporte público. Segundo a Lei Brasileira de Inclusão (LBI – 13.146/2015) (BRASIL, 2015), são consideradas PCD aquelas que possuem algum impedimento de longo prazo para participação plena na sociedade, em igualdade de condições, podendo a deficiência ser de natureza física, mental, intelectual ou sensorial. A lei garante, entre outros, o direito ao transporte e à mobilidade, considerando, para fins de acessibilidade ao transporte público coletivo (em qualquer modalidade), os veículos, terminais, estações, pontos de parada, sistema viário e prestação do serviço. Esses direitos são também garantidos através da Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012) e pela Lei de Prioridade de Atendimento (Lei 10.048/00) (BRASIL, 2000).

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada do Brasil (IPEA), 65% da população brasileira utiliza transporte público em capitais (BRASIL, 2011). Por ser um facilitador de acesso a alguns serviços básicos para a sociedade (como saúde, trabalho e educação, por exemplo), o transporte coletivo tem um lugar significativo na vida das pessoas, muito embora haja ainda uma grande dificuldade e ineficiência para o seu funcionamento (PESCATORI; BOWNS, 2008). Os sistemas de transporte público urbano tradicional em todo o mundo são geralmente projetados para uma população saudável e raramente levam em conta as necessidades das pessoas com deficiência (ZHOU *et al.*, 2012). Assim, muitas vezes, representam mais uma barreira para as pessoas com deficiência.

Uma das soluções possíveis para o aprimoramento da prestação de serviço do transporte público se dá através das tecnologias das plataformas digitais, que permitem a conexão entre o produtor e o consumidor do produto ou serviço, para que eles se conectem a esse ambiente e interajam entre si. Direcionar esforços para o desenvolvimento dessas plataformas traz ganhos no tocante ao modo de se relacionar com o consumidor, tanto em organizações públicas, quanto privadas ou de economia mista, pois as plataformas digitais são consideradas como ativos muito valiosos para cada organização e para a sociedade em geral.

Por outro lado, o planejamento de transporte e a avaliação das necessidades de infraestrutura da população e das empresas operadoras não é tarefa trivial. A complexidade dessa tarefa exige sistemas de informação no processo decisório no planejamento de transportes (MORLOK, 1978).

A gestão dos sistemas de transporte necessita de um modelo capaz de caracterizar de forma simplificada, mas eficaz, a realidade existente. A implementação desse modelo requer uma plataforma computacional para operacionalização. Dado que os sistemas de transportes são distribuídos sobre o espaço e os seus objetos se deslocam nesse espaço, então o carácter espacial desses sistemas faz dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) uma boa plataforma e ferramenta para ser aplicada na gestão do tráfego urbano (PINTO, 2011).

O desenvolvimento da tecnologia computacional vem permitindo que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se tornem ferramentas populares para análise e planejamento dos transportes (GOODCHILD, 1998; NIERGES, 2004). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais usados para o entendimento dos fatos e fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. A sua capacidade de reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial, estruturando-os e integrando-os adequadamente, torna-os ferramentas essenciais para a manipulação e análise das informações geográficas (BOLATTO *et al.*, 2000). O SIG permite armazenamento, exibição, troca eficiente e flexível de dados espaciais e análise espacial dos dados armazenados (LONGLEY *et al.*, 2013).

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) *campus* Recife, em parceria com o Grande Recife Consórcio de Transporte (CTM) e a Agência de Tecnologia da Informação de Pernambuco (ATI), desenvol-

veu o projeto de pesquisa denominado Plataforma de Inteligência Geográfica – Sigabem, cujo objetivo principal é melhorar a acessibilidade de pessoas com deficiência ao transporte público da Região Metropolitana do Recife. Um dos resultados desse projeto de pesquisa foi o desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas em ambiente *web* (SIG Web) para ser utilizado pelos gestores de transporte, auxiliando-os na tomada de decisão e na formulação de políticas públicas de acessibilidade.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar os passos seguidos e os resultados obtidos com o desenvolvimento do SIG Web, um dos frutos do projeto Sigabem. Para isso foi utilizado o *software* ArcGIS, mais especificamente a ferramenta Web AppBuilder do ArcGIS Enterprise, que tem a capacidade de criar aplicações *web*, visando permitir e facilitar a consulta e análises espaciais para gestores do transporte público da Região Metropolitana do Recife (RMR). Para realização deste trabalho, foi necessário traçar alguns objetivos específicos, a saber:

- estruturar o banco de dados geográficos para incorporar ao SIG Web;
- criar o SIG Web propriamente dito;
- configurar as funções dos *widgets* no SIG Web, criando o aplicativo SIG Web Sigabem.

METODOLOGIA

Abrangência do estudo

O projeto Sigabem atende aos mais de 36.000 usuários (pessoas com deficiência) cadastrados pela Urbana-PE no Vale Eletrônico Metropolitano (VEM Livre Acesso), utilizado para acesso gratuito ao transporte público. A Urbana é o Sindicato das Empresas de Transportes de Passageiros no Estado de Pernambuco.

O SIG Web desenvolvido conta com a localização espacial desses usuários, que residem em todo o Brasil, porém concentram-se na Região Metropolitana do Recife e utilizam o transporte público.

Local de desenvolvimento do trabalho

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Geotecnologias e Meio Ambiente (LabGeo)

em parceria com o Laboratório de Engenharia e Desenvolvimento de *Softwares* (Grendes), no *campus* Recife do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE). O projeto também foi desenvolvido em parceria com a Grande Recife Consórcio de Transporte (CTM), responsável pelo controle da frota rodoviária pública da Região Metropolitana do Recife, e com a Agência de Tecnologia da Informação de Pernambuco (ATI).

Aquisição de dados primários

Os dados geográficos utilizados foram obtidos de portais institucionais que disponibilizam dados geográficos. Os dados de localização dos semáforos sonoros e pontos de *Wi-Fi*, foram obtidos do Portal de Dados Abertos da Prefeitura do Recife. Por último, os dados referentes às PCD (idade, sexo, endereço, tipo e subtipo de deficiência/necessidade especial e tipo de VEM) foram cedidos pela Urbana – PE. Os tipos de deficiências são aqui identificados como auditiva, visual, física, intelectual e múltipla.

Softwares de construção e análise

Para criação do banco de dados geográficos (BDG) Sigabem foi utilizado o ArcGIS Pro 2.4.0., que conta com diversas camadas de informações (*layers*) selecionadas dos portais institucionais, conforme citado. O BDG apresenta diversos *feature dataset* (conjunto de dados de feição) e seus respectivos *feature classes* (classes de feição) e adotou o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) em coordenadas geográficas. Para a criação do SIG Web, foi utilizado o ArcGIS Enterprise, por meio da importação e sincronização com as informações do banco de dados geográficos, criado anteriormente. Sua implementação foi feita através da ferramenta Web AppBuilder, que funciona como um aplicativo para consultas e análises dos dados inseridos no banco de dados. A ferramenta está disponível na plataforma do ArcGIS Enterprise pela licença educacional do IFPE *campus* Recife.

Dentro do Web AppBuilder é possível inserir o mapa proveniente do SIG Web, definir o mapa-base, configurar e implementar os *widgets*. Estes, por sua vez, oferecem funções fundamentais para criar o aplicativo, personalizando as configurações de acordo com o objetivo. Eles aqui são divididos em *widgets* de **navegação**, utilizados na tela inicial da aplicação para facilitar a experiência visual (como a janela inicial, o cabeçalho, o controle deslizante de *zoom*, a barra de escala, as coordenadas geográficas, a barra de pesquisa e a tabela de

atributos, por exemplo); os de **consulta**, como tabela de atributos, lista de camadas, legenda e *link* de compartilhamento; e os de **análise**, que foram aplicados e testados a partir da documentação de descrição de suas funções, disponibilizadas pelo ArcGIS, para o objetivo proposto do SIG Web Sigabem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O banco de dados geográficos do Sigabem totalizou 12 camadas primárias, sendo elas: Brasil, municípios de Pernambuco, bairros da Região Metropolitana do Recife (RMR) e bairros do Reci-

fe, pontos de *Wi-Fi* gratuitos do Recife, localização dos semáforos sonoros do Recife, os dados georreferenciados dos PCD do estado de Pernambuco e as outras cinco camadas correspondentes à subdivisão da camada citada anteriormente nas cinco categorias de deficiência definidas (física, visual, múltipla, auditiva e intelectual).

O banco de dados geográficos foi importado no ArcGIS Enterprise para construção do SIG Web (Fig. 1) e, posteriormente, incorporado ao Web AppBuilder, gerando o que denominamos de SIG Web Sigabem (Fig. 2). Ao SIG Web Sigabem, também foram incorporados um total de 30 *widgets* de navegação, consultas e análises, que estão descritos abaixo.

Figura 1: SIG Web criado no ArcGIS Enterprise, com todas as camadas importadas do banco de dados geográficos

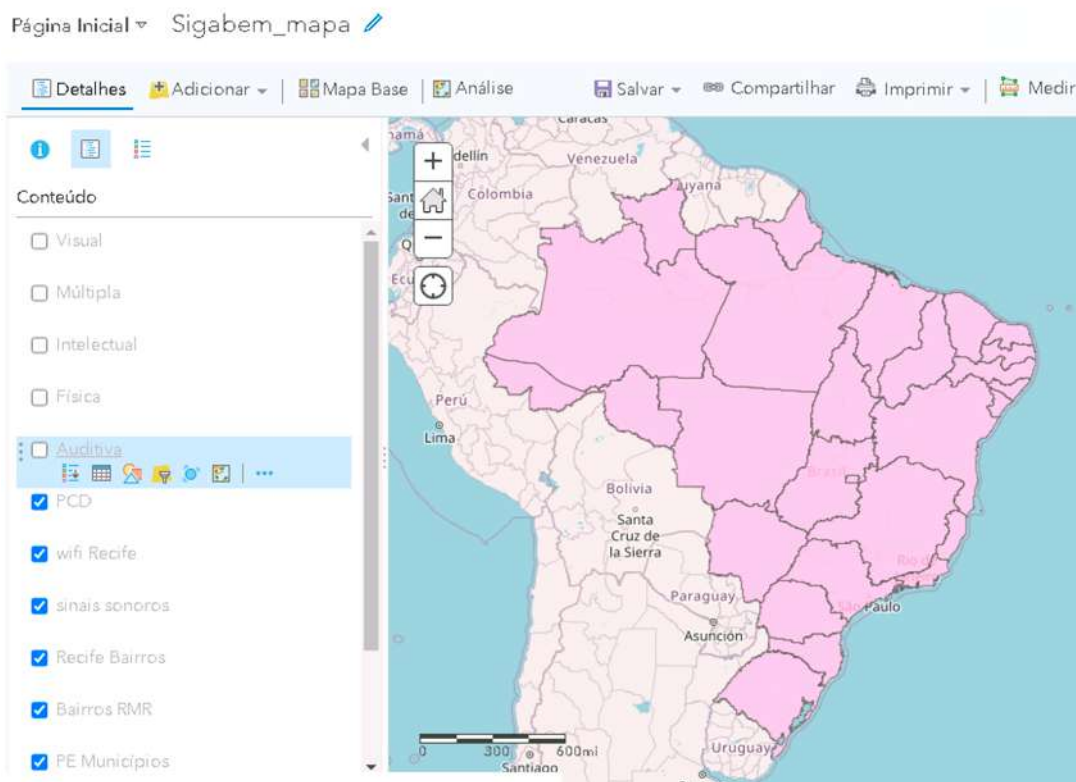
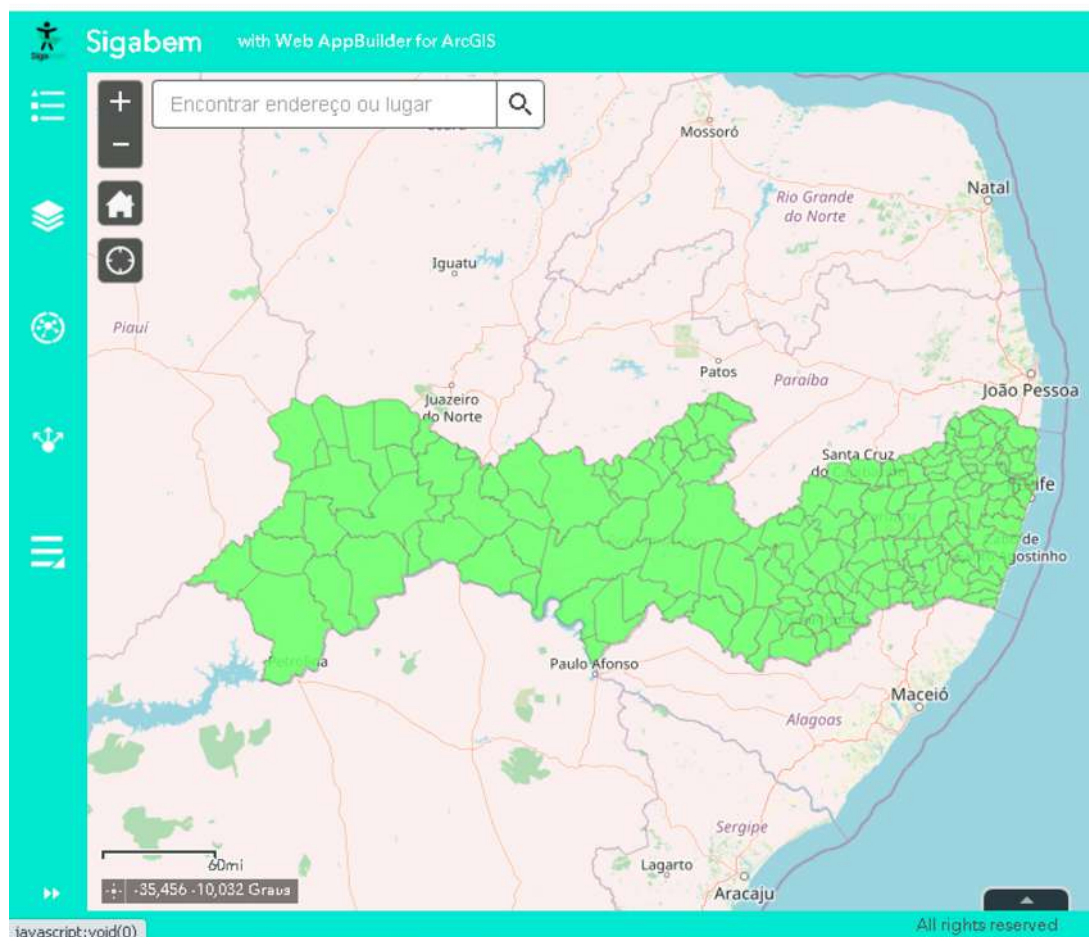


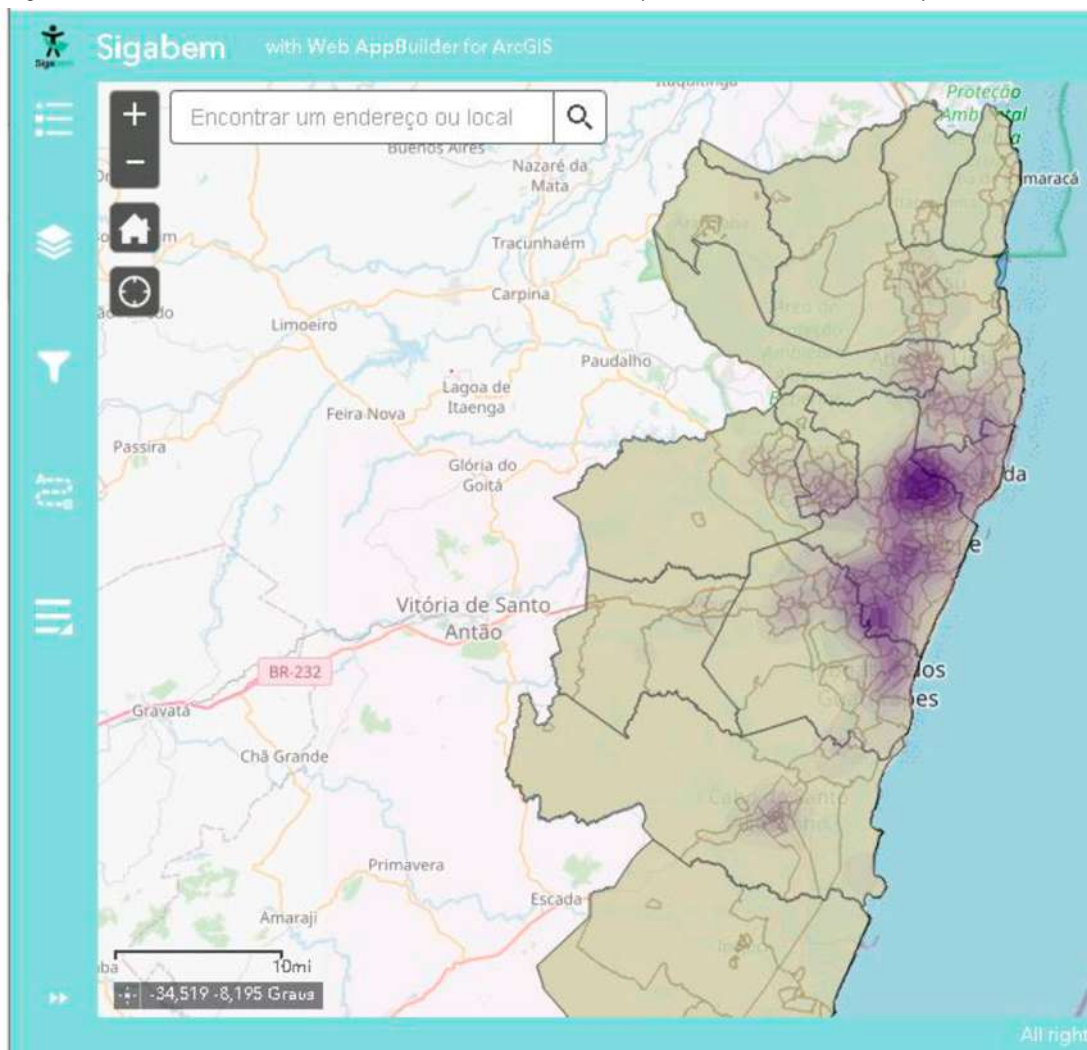
Figura 2: Visão geral do SIG Web Sigabem – os ícones apresentados na visão geral correspondem aos *widgets* de navegação e de consulta inseridos



Para criar um mapa de densidade (ou mapa de calor), a partir da distribuição/concentração de pontos de determinado grupo amostral, foi utilizado o *widgjet* "Análise > Calcular densidade". Nesse caso, foi analisada a distribuição das PCD (geral) e de cada tipo (visual, física, intelectual, auditiva e múltipla) ao longo de toda a Região

Metropolitana do Recife (RMR). O resultado da análise mostra onde estão as maiores e menores concentrações de cada grupo e podem ser salvas como camadas resultantes dentro do próprio SIG Web Sigabem. No exemplo abaixo (Fig. 3), é apresentado o exemplo do padrão de distribuição de pessoas com deficiência do tipo visual.

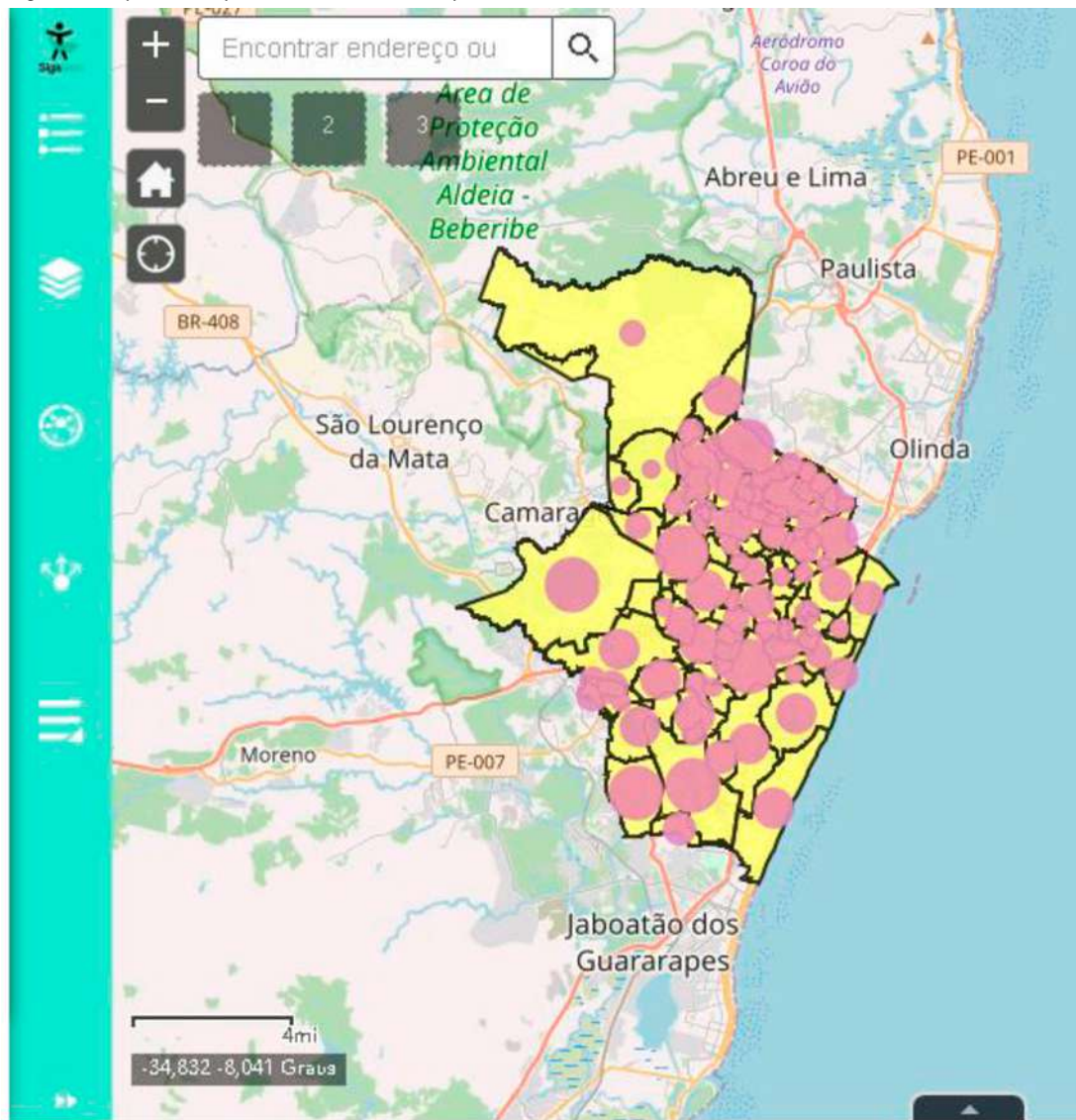
Figura 3: Camada resultante da análise de cálculo de densidade dos pontos referentes às PCD do tipo visual na RMR



Para obter um resultado de proporção de pessoas com deficiência por bairro da RMR, a ferramenta “Análise > Agregar pontos” foi utilizada. A ferramenta correlaciona a quantidade de pontos presentes no polígono e a sua área para gerar esse resultado. No exemplo (Fig. 4),

é possível ver a proporção de pessoas com deficiências para cada bairro do Recife. O resultado também fica salvo como camada resultante no SIG Web Sigabem. Essa análise pode ser realizada para outras camadas de pontos e de polígonos.

Figura 4: Proporção de pessoas com deficiência por bairro do Recife



Com o *widget* “Consciência da situação”, é possível especificar um local em um mapa (definido livremente pelo usuário como ponto, linha ou polígono, com ou sem *buffer*) e analisar informações das camadas de recursos na área especificada. Com um único comando é possível obter o endereço mais próximo ao ponto selecionado (Fig. 5) e o resumo numérico dos campos obtidos na contagem dentro da área es-

pecificada (Fig. 6). Nesse caso, o resultado do comando sinalizou as pessoas com deficiência, separadas por tipo, mais próximas do ponto especificado, dentro de um raio de 350 m. Os dados incluídos na tabela de atributo referente a cada ponto selecionado, o mapa da seleção e o resumo das informações podem ser exportados no formato .csv ou pode ser gerado um relatório no formato .pdf.

Figura 5: Configuração inicial para indicar o ponto selecionado dentro do comando “Consciência da situação” e o endereço mais próximo encontrado

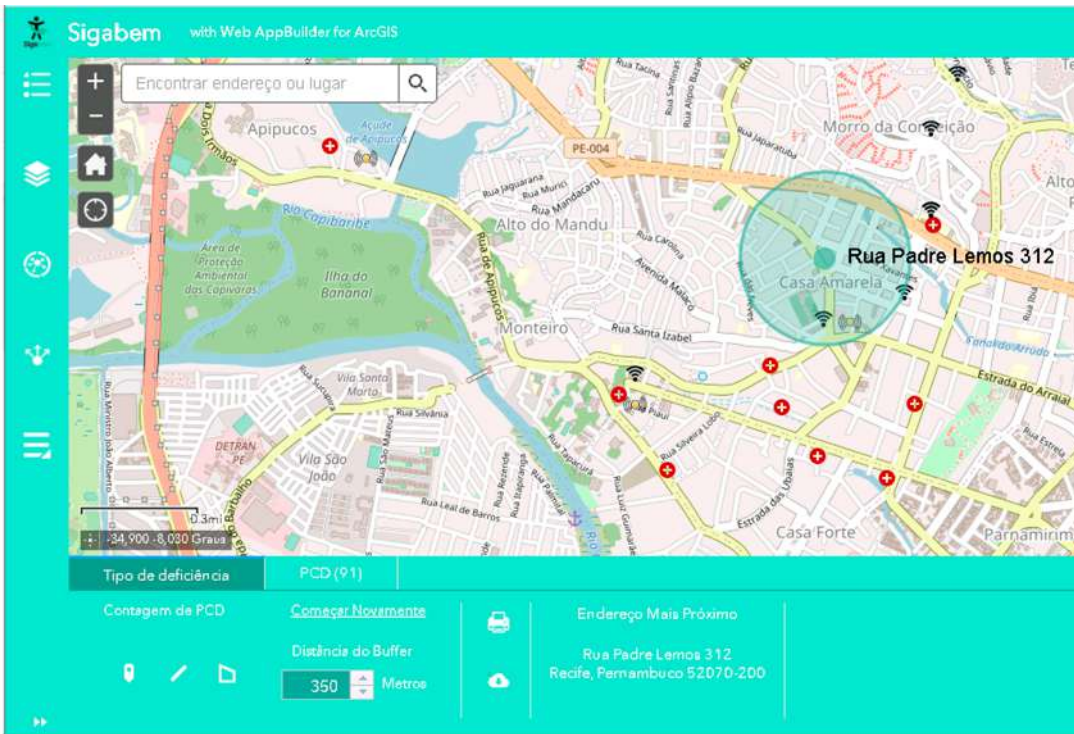
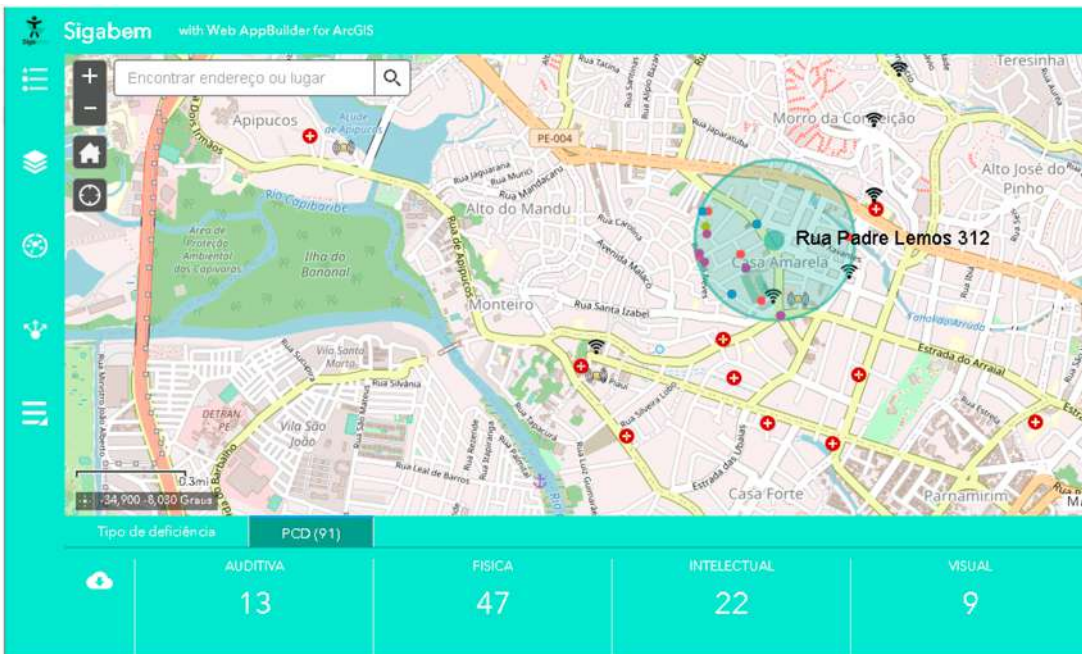


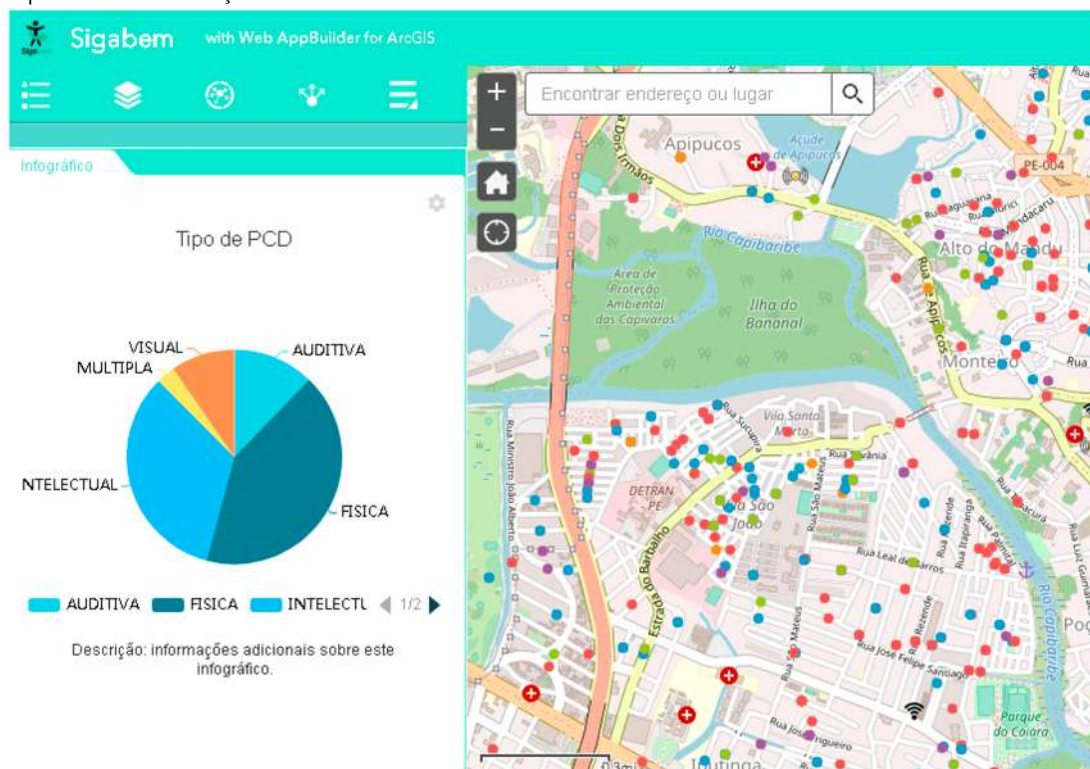
Figura 6: Resumo numérico dos campos obtidos na contagem, dentro da área especificada, dividido por tipos de deficiência, através do widget “Consciência da situação”



Para obter um gráfico de visualização dinâmica, a ferramenta “Infográfico” foi acionada, de modo a observar a quantidade (em porcentagem e em contagem numérica) das pessoas com deficiência, de acordo com a

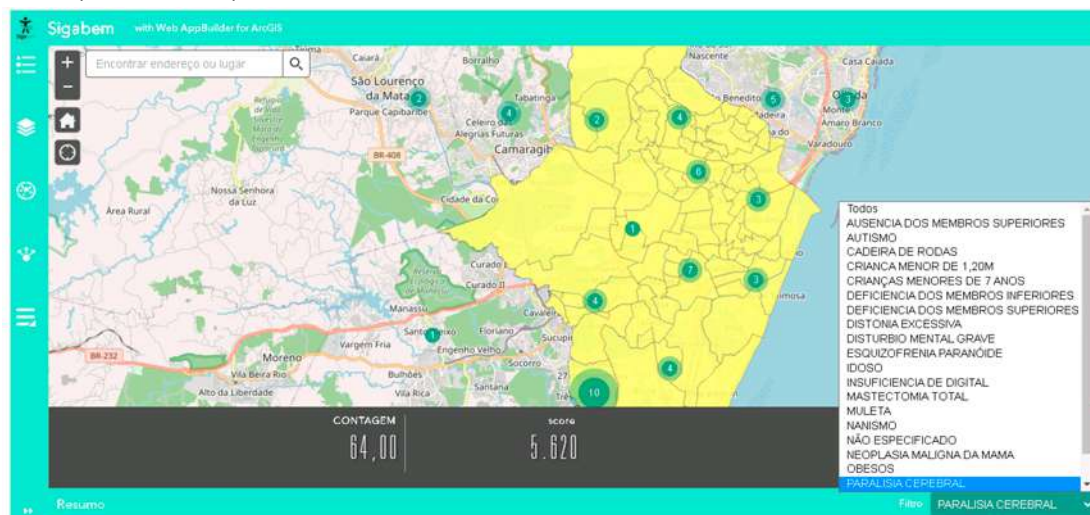
extensão do mapa (campo de visualização), ou seja, o gráfico responde às mudanças visuais do mapa. No SIG Web Sigabem, o *widget* foi configurado para exibir os dados referentes à camada de pessoas com deficiência (Fig. 7).

Figura 7: Infográfico para tipos de PCD mostrando a proporção de tipos de deficiência na área amostral; pontos coloridos representam a distribuição de PCD



Visando possibilitar a identificação de pessoas através do seu subtipo de deficiência (deficiência de membros superiores, inferiores e usuário de muletas, por exemplo) ou condições específicas (autismo, idoso e criança menor de sete anos, por exemplo), em números, por regiões (limitadas à extensão visual do mapa no momento da análise), foi implementado o *widget* “Resumo”. Na Fig. 8, foram identificadas a quantidade e a localização de pessoas com paralisia cerebral na RMR.

Figura 8: Identificação de grupo de pessoas pelo subtipo de deficiência “paralisia cerebral” resumida por regiões, dentro do campo visível do mapa



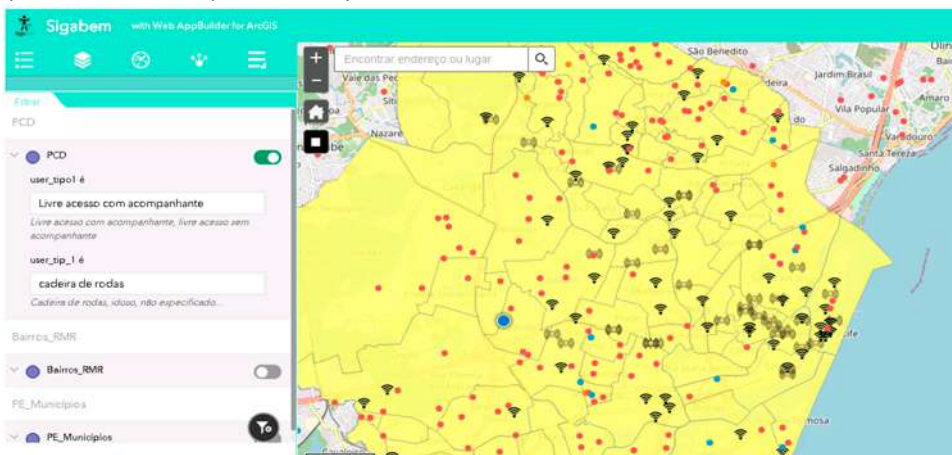
Uma outra forma de delimitar as informações de uma ou mais camadas do mapa para interesses específicos foi implementando o recurso “Filtrar”. Assim, somente os recursos que atendem aos critérios de expressão solicitadas no

filtro (a partir de sua configuração prévia) serão visíveis no mapa. A partir disso, as análises e a visualização dos demais *widgets* serão baseadas no resultado do filtro. A implementação desse recurso foi baseada na identificação de PCD que

necessitam ou não de acompanhante. Essa informação é cadastrada no banco de dados como “VEM Livre Acesso com acompanhante” ou “VEM Livre Acesso sem acompanhante”. Dentro do mesmo filtro, é possível identificar o subtipo

da deficiência do indivíduo. Por exemplo: um indivíduo com livre acesso com acompanhante e que utiliza cadeira de rodas, independente do tipo de deficiência (deficiente auditivo, visual, intelectual, múltiplo ou físico) (Fig. 9).

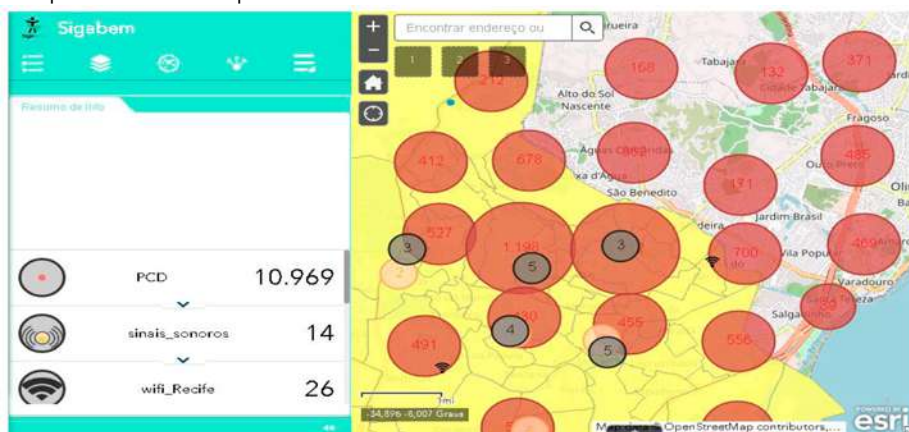
Figura 9: Utilização de filtro para identificação de PCD que utilizam o VEM Livre acesso e que utilizam cadeira de rodas para se deslocar, independente do tipo de deficiência



Para ter acesso ao resumo de um número maior de camadas ao mesmo tempo e também melhorar a experiência visual no aplicativo (grande parte das camadas, desde que habilitadas, sem poluição visual), foi implementado o *widget* “Resumo da informação”. Nele pode ser apresentada a contagem de PCD total, PCD por tipo de

deficiência, sinais sonoros, Wi-Fi e quantidade de paradas de ônibus dentro da extensão visual do mapa. Os mapas podem ser apresentados agrupados ou não, e permitem analisar como os PCD estão sendo assistidos em relação à disponibilidade de instrumentos urbanos, como os apresentados acima e exemplificados abaixo (Fig. 10).

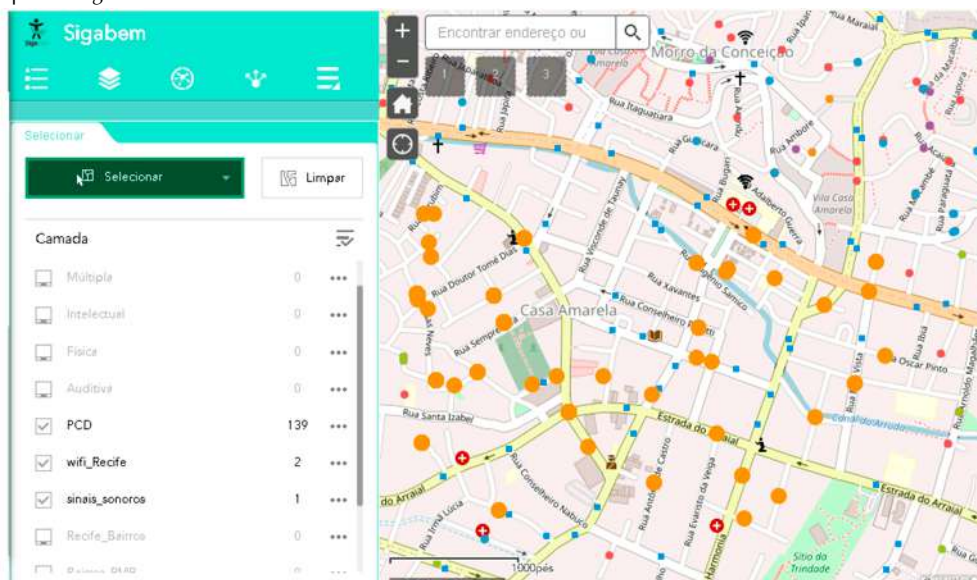
Figura 10: Resumo de informações a respeito da quantidade de semáforos sonoros e pontos gratuitos de Wi-Fi distribuídos e a quantidade de PCD que eles atendem



O *widget* “Selecionar” permite selecionar os recursos de uma área no mapa e executar ações dentro da lista de camadas inserida nessa ferramenta (Fig. 11), como dar destaque (pontos sinalizados com tamanho e cor diferenciados),

exportar o arquivo em .csv, para coleção de recursos, para GeoJson, salvar como novo conteúdo, adicionar marcador, mostrar registros relacionados, estatísticas, criar camada, visualizar na tabela de atributos, entre outros.

Figura 11: Seleção de recursos das camadas ativas no mapa para análise posterior por meio dos comandos oferecidos pelo *widget* “Selecionar”



Também foram implementados dois *widgets* para auxiliar a análise e tomada de decisões no sentido de cálculo de direção e deslocamento. A ferramenta “Direções” permite calcular de forma rápida as rotas (tempo de trajeto, percurso e opção de transporte) entre dois ou mais locais através de um serviço de rota de rede e um serviço de *geocoder* (Fig. 12). A ferramenta “Distância e direção” permite desenhar linhas, círculos, elipses e anéis de alcance para visualizar informações, fazer planejamento de rotas através da relação tempo, distância e velocidade (Fig. 13).

Figura 12: Resultado criado a partir da solicitação de rota entre dois endereços da RMR

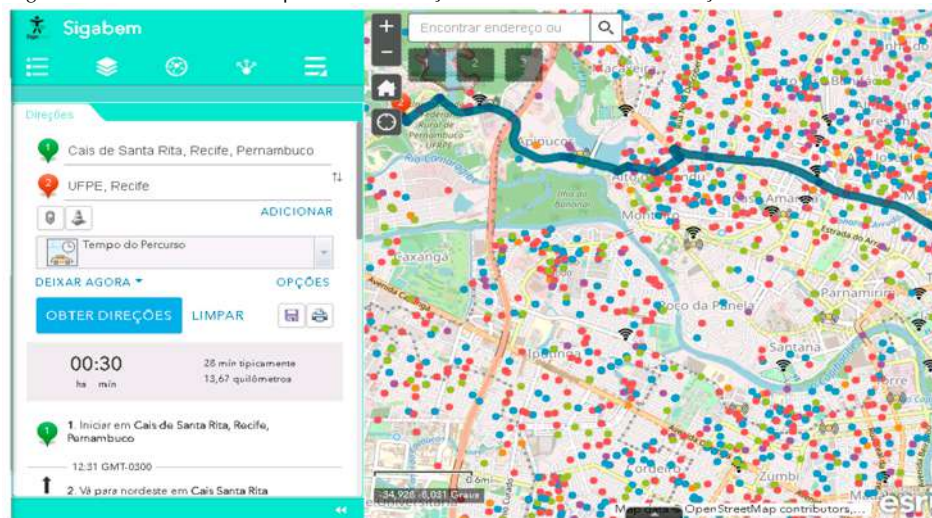
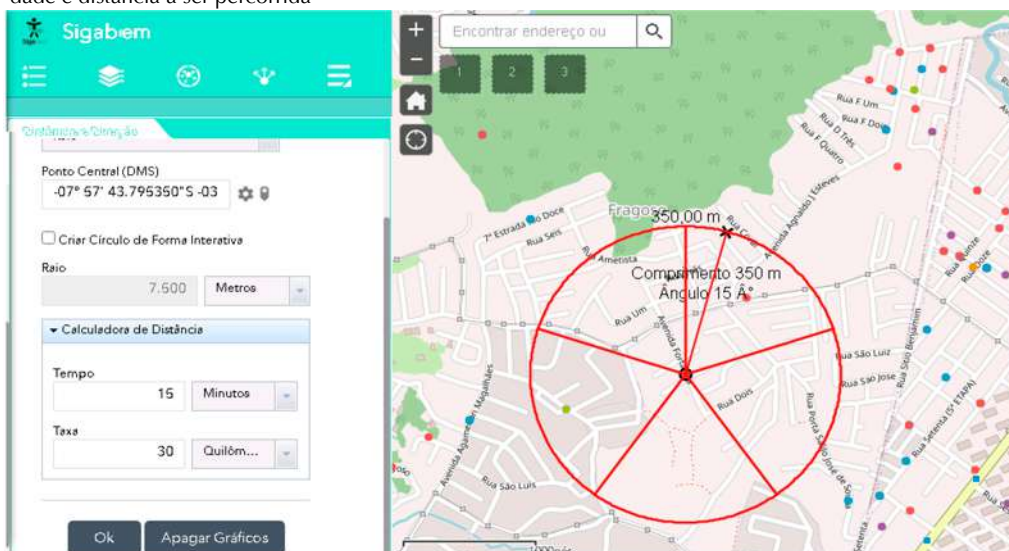


Figura 13: Mostra o gráfico com base nos comandos de ponto definidos por coordenada geográfica, raio, ângulo, velocidade e distância a ser percorrida



Os SIG Web têm sido utilizados em trabalhos para disponibilização de dados da área social, ambiental e econômica. Barboza *et al.* (2016) desenvolveram um trabalho de pesquisa com a finalidade de compartilhar dados socioeconômicos e ambientais do projeto “Águas de areias”, que tem como objetivo colecionar dados dos usuários de água na região do semiárido pernambucano (BARBOZA *et al.*, 2016). Azevedo *et al.* (2018) elaboraram um SIG Web com informações socioambientais e econômicas, e apresentaram mapas temáticos, que mostram as áreas da RMR aptas a receber um aterro de resíduos da construção e demolição (RCD). Do mesmo modo, o uso de tecnologia semelhante também foi reconhecido como sendo uma alternativa viável para o planejamento, gerenciamento, operação e monitoramento do transporte público (CAULFIELD; O’MAHONY, 2007). A crescente utilização de SIG Web se deve ao fato de poder ter dados seguros e disponíveis em qualquer local, utilizando dispositivos eletrônicos acessíveis (celular e *tablet*, por exemplo), desde que tenha acesso à internet (AZEVEDO *et al.*, 2018). Isso amplia a eficiência e o alcance desse tipo de ferramenta, e consequentemente, melhora seus resultados e a agilidade para a tomada de decisões assertivas.

Aplicativos *web* para o serviço de transporte público têm sido uma solução amplamente utilizada, tendo em vista todas as funções e benefícios promovidos diretamente aos usuários do transporte público (VIEIRA *et al.*, 2012). Porém, a inclusão do atendimento exclusivo ou direcionado para o atendimento das pessoas com deficiência ainda é incipiente. Nesse caso, o SIG Web Sigabem auxiliará com mais precisão

os gestores do CTM, que terão acesso a dados e camadas de informações necessárias para fazer consultas e análises espaciais que auxiliarão na tomada de decisão a nível local e na formulação de políticas públicas de acessibilidade ao transporte público pelas pessoas com deficiência.

CONCLUSÕES

Reconhecendo a necessidade de melhoria da acessibilidade de pessoas com deficiência ao transporte público na Região Metropolitana do Recife, o SIG Web Sigabem surge como uma ferramenta computacional que poderá suprir diversas necessidades elencadas pelos gestores na ocasião da tomada de decisão. As pessoas com deficiência precisam ter o acesso ao transporte público para melhorar a sua qualidade de vida e, muitas vezes, faltam dados e ferramentas capazes de fornecer aos gestores subsídios que auxiliem no planejamento, visando à ampliação dos serviços oferecidos.

Com o SIG Web Sigabem, o Grande Recife Consórcio de Transporte poderá aferir a acessibilidade das pessoas com deficiência e fazer projeções de aumento de demanda e as alternativas de suprimento, sejam em aumento ou modificação do itinerário e número de linhas, deslocamento de paradas de ônibus, aumento da frota, entre outros.

O SIG Web Sigabem também poderá servir de apoio para a formulação de políticas públicas, assim como para o direcionamento e a aplicação de recursos financeiros na área na tentativa de diminuir as dificuldades de acesso ao transporte por essa parcela da população.

REFERÊNCIAS

- ADIRON, F. Prevenção contra a tortura ou os tratamentos ou penas cruéis, desumanos ou degradantes. In: RESENDE, A. P. C.; VITAL, F. M. P. (Coord.). *A Convenção sobre os direitos das Pessoas com Deficiência comentada*. Brasília: Secretaria Especial dos Direitos Humanos/Coordenação Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, 2008. p. 62-65.
- AGÊNCIA BRASIL. 65% usa transporte público nas capitais, mostra estudo. *Folha de S. Paulo*, 4 maio 2011. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2011/05/911133-65-usa-transporte-publico-nas-capitais-mostra-estudo.shtml?origin=folha>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- AZEVEDO, A. M.; BARBOSA, I. M. B. R.; PAZ, D. H. F. Sistema de Informações Geográficas para compartilhar informações online através de um SIGWEB. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 6., 2018. *Anais...*, Bento Gonçalves, 2018.
- BARBOZA, F.; SANTANA, G.; RAMEH, I.; DUARTE, A. Uso do Arcgis@online para disponibilização dos dados do projeto Águas de Areias. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 11., 2016. *Anais...*, Maceió, 2016.
- BERNARDES, L.C.G.; ARAÚJO, T. C. F. Disability, public policies and bioethics: the perception of public administrators and legal counselors. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17(9), p. 2.435-2.445, 2012.
- BOLATTO, G.; SOZZA, A.; GAUNA, I.; RUSCONI, M. *The Geographic Information System (GIS) of Turin Municipality*, 2000. p. 97-109.
- BRASIL. Lei nº 10.048, de 8 de novembro de 2000. Decreto que dispõe sobre a Lei de Prioridade de Atendimento. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L10048.htm. Acesso em: 25 out. 2020.
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 13 de janeiro de 2012. Decreto que dispõe sobre a Política Nacional de Mobilidade Urbana. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12587.htm. Acesso em: 25 out. 2020.
- BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Decreto que dispõe sobre a Lei Brasileira de Inclusão. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm. Acesso em: 25 out. 2020.
- CAULFIELD, B.; O'MAHONY, M. An examination of the public transport information requirements of users. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8:1, 2007, 21-30.
- GOODCHILD, M. F. Geographic information systems and disaggregate transportation modeling. *Geographical Systems*, v. 5, p.19-44, 1998.
- IBGE, Pesquisa Nacional da Saúde. *Ciclos de vida*. Brasil e grandes regiões, Rio de Janeiro, 2013.
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. *Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- MORLOK, E. K. *Introduction to transportation engineering and planning*. New York: McGrawHill College, 1978.
- NIERGES, T. L. The Geography of Urban Transportation. In: *GIS in Urban—Regional Transportation Planning*, 3rd. Ed. New York, 2004.
- OMS. *United Nations expert meeting on building inclusive Societies and development through promotion of accessible Information and Communication Technologies (ICTs)*; Emerging issues and trends. Sumário executivo. Tokyo, Japan, Apr. 2012.
- PESCATORI, C.; BOWNS, C. Transporte e equidade: ampliando o conceito de sustentabilidade pelo estudo de caso de Brasília, *Cadernos Metrópole*, v. 19, p. 293-317, 2008.
- PINTO, J. A. M. *Análise espacial de indicadores da qualidade de serviço de transportes coletivos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Território) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- VIEIRA, V.; SALGADO, A. C.; TEDESCO, P.; TIMES, V.; FERRAZ, C.; HUZITA, E.; STEINMACHER, I. The UbiBus project: Using context and ubiquitous computing to build advanced public transportation systems to support bus passengers. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 8., 2012. *Anais...*, 2012. p. 55-60.
- ZHOU, H.; HOU, K. M.; ZUO, D.; LI, J. Intelligent urban public transportation for accessibility dedicated to people with disabilities, *Sensors (Switzerland)*, v. 12, n. 8, p. 10.678-10.692, 2012.

Dados dos autores

Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa (ionarameh@recife.ifpe.edu.br). Doutorado em Eng. Civil. Profa Titular do IFPE *campus* Recife, Recife – PE.

Vânia Soares de Carvalho (vaniacarvalho@recife.ifpe.edu.br). Doutora em Agronomia. Profa titular do IFPE *campus* Recife.

Aida Araújo Ferreira (aidafferreira@recife.ifpe.edu.br). Doutorado em Ciência da Computação, Profa Titular do IFPE *campus* Recife.

Frederico Carvalho (fred.carvalho@ati.pe.gov.br). Graduação em Ciência da Computação e Pós-Graduação em Geoprocessamento, Analista de Gestão de TIC na Agência de Tecnologia da Informação de Pernambuco.

Lúcia Guimarães Recena (luciarecena@granderecife.pe.gov.br). Mestrado em Engenharia Civil, Chefe da Divisão de Avaliação do Sistema no Grande Recife Consórcio de Transporte.

ANÁLISE REGULATÓRIA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS

Beatriz da Silva Reis

Paulo Victor de Souza Borges

RESUMO: Alternativas de geração distribuída, empregando fontes renováveis, têm modificado profundamente a estrutura clássica dos sistemas elétricos. No Brasil, a Resolução Normativa nº 482/2012 viabilizou a geração de energia elétrica pelo próprio consumidor, instituindo as definições de micro e minigeração distribuída e o sistema de compensação de energia. Com o intuito de estimular a expansão da geração descentralizada, a REN nº 687/2015 entrou em vigor atualizando as regras originais. Desde então, um crescimento expressivo na capacidade instalada é observado, sendo a geração solar a protagonista dentre as fontes. Atualmente uma nova atualização se encontra em curso. Imerso neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o estado da arte da GD no Brasil, abordando a análise regulatória e compreendendo os aspectos dos atuais entraves. Verificou-se que apesar dos inúmeros benefícios oferecidos pela GD, existem divergências na atual forma de compensação de créditos, gerando um impasse na definição das novas regras.

Palavras-chave: Geração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia, Resolução Normativa, Geração Solar.

ABSTRACT: Alternatives of distributed generation, using renewable sources, have modified a classic structure of electrical systems. In Brazil, Normative Resolution No. 482/2012 made it possible for the consumer to generate electricity, establishing the definitions of micro and distributed mini generation and the energy compensation system. In order to stimulate the expansion of decentralized generation, REN No. 687/2015 came into force updating as original rules. Since then, a significant increase in installed capacity has been observed, with solar generation being the main player among the sources. Currently, a new update is in progress. Immersed in this context, the present work aims to present the state of the art of DG in Brazil, addressing a regulatory analysis and understanding the current obstacles. It was found that despite the numerous benefits offered by GD, there are divergences in the current form of credit compensation, generating an impasse in the definition of the new rules.

Keywords: Distributed Generation, Energy Compensation System, Normative Resolution, Solar Generation

INTRODUÇÃO

O aumento na demanda de energia elétrica é uma realidade inevitável para nossa sociedade digital, cada vez mais dependente de tecnologia. Estima-se que a demanda global de eletricidade cresça 2,1% ao ano até 2040, sendo indispensável um fornecimento confiável e acessível. Diante destas projeções, pode-se estabelecer os possíveis cenários onde grandes centrais geradoras, em suas formas tradicionais de produção, seriam protagonistas. Dentre os inevitáveis danos socioambientais, pode-se citar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em destaque, dada a responsabilidade da produção de eletricidade neste quesito (Aneel, 2012).

O aumento da produção de energia elétrica foi uma das principais razões pelas quais as emissões globais de CO₂ atingiram um recorde em 2018 (IEA, 2020). As emissões de CO₂ do setor de energia aumentaram 2,6% em 2017 e 2,5% em 2018, após três anos de declínio. Em 2018, a intensidade total de emissões reduziu apenas 1,3%, como resultado do aumento de 6% na geração de tecnologias de baixo carbono, compensado por um aumento de 2,6% no carvão não abatido (IEA, 2020).

Novas formas de produção de eletricidade, no entanto, têm modificado profundamente o fornecimento global de eletricidade, pelo aumento de fontes renováveis de geração, como a eólica e a solar fotovoltaica. Estabelecendo um comparativo entre as capacidades instaladas de geração e as capacidades disponíveis de fontes alternativas dos países líderes e do Brasil, pode-se contextualizar o cenário nacional nestas transformações.

O Brasil se encontra na sétima colocação no ranking dos maiores países em capacidade instalada de geração de energia elétrica no mundo, com 150,3 GW (2,3%). Os líderes do ranking são China, em primeiro lugar, com 1.653,2 GW instalados (25,4%), seguida dos Estados Unidos com 1087,1 GW (16,7%) e da Índia com 367,8 GW (5,7%). Nos anos de 2017 e 2018, houve uma expansão de 3,6% da capacidade instalada de geração de eletricidade brasileira, sendo a maior parcela a geração hidráulica (EPE, 2019). No ano de 2019, o Brasil superou a China e assumiu a liderança em construção de novas hidrelétricas, o que não ocorria desde 2004 (REN 21, 2020).

A capacidade instalada de fontes alternativas no mundo segue os mesmos dois líderes do ranking mencionados: China liderando com 235,7 GW instalados (30,8%) e Estados Unidos com 132 GW (15%). O Brasil se encontra em

nono lugar, com 24,4 GW instalados (2,8%), contabilizando apenas a biomassa (lenha, bagaço de carne e lixo), eólica e solar. No Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2017 o Brasil ocupava o décimo lugar, com 17,2 GW (2,6%), mantendo sua posição no ano seguinte, com potência de 20 GW. A geração solar protagonizou a maior expansão proporcional brasileira, que em 2017 obteve um aumento de quase quarenta vezes em relação ao ano de 2016. Comparando os anos de 2018 e 2017, constata-se um aumento de 92% na potência instalada (EPE, 2019).

Seguindo a temática de novas formas de produção de eletricidade, alternativas de geração distribuída (GD), empregando fontes renováveis, têm modificado profundamente a estrutura clássica dos sistemas elétricos. Por GD entende-se centrais geradoras de pequeno porte conectadas no sistema elétrico de distribuição, junto ao consumidor. Sua recente evolução pode ser contextualizada numa prodigalidade de motivações direcionadas em uma mesma convergência: o protagonismo e a participação ativa do consumidor nos sistemas elétricos de potência (SEP). Um expressivo crescimento da GD pode ser observado em diversos países, desafiando a estética centralizada na qual os SEP foram desenvolvidos.

Apesar de recente, a GD já é responsável por cerca de 1% da geração de eletricidade em todo o mundo e sua adesão cresce exponencialmente (REN 21, 2020). Para consumidores e empresas, as oportunidades incluem a capacidade de instalar seus próprios sistemas de energia renovável, gerando sua eletricidade e reduzindo a dependência da rede (REN 21, 2020), ajudando a mitigar o congestionamento nas linhas de transmissão, dada localização próxima à carga (Jain, 2018).

Imerso neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral apresentar o estado da arte da GD no Brasil, abordando a análise regulatória do processo de expansão e compreendendo os aspectos dos atuais entraves. Verificou-se que apesar dos inúmeros benefícios oferecidos pela GD, existem divergências na atual forma de compensação de créditos, o que gera um impasse para a definição das novas regras. A partir da análise apresentada, pode-se concluir que, embora estudos de mapeamento sejam primordiais para a delimitação da GD no Brasil, as políticas regulatórias são diretamente proporcionais ao estímulo da mesma. A pesquisa traz ainda a comparação do número de conexões e políticas de incentivo no Brasil e em outros países, questionando as possíveis futuras barreiras políticas para GD.

EVOLUÇÃO DA GD NO CENÁRIO NACIONAL

Diante das mudanças nos padrões de consumo e distribuição de energia, a estrutura clássica dos sistemas elétricos de potência (SEP) têm sido severamente impactadas pela GD. Devido ao seu crescimento ao redor do mundo, os desafios que confrontam os SEP podem ser observados claramente nas mudanças das relações operacionais, regulatórias e comerciais entre provedores e consumidores (Ferreira, 2019).

Considerando estes aspectos, novos caminhos são especulados para o futuro dos SEP, surgindo a incerteza se os mesmos continuarão sendo caracterizados por agentes tradicionais do mercado, com gerações centralizadas, ou se passarão a ser compostos por pequenas fontes de geração, gerenciadas por diversos consumidores (Ferreira, 2019). Acredita-se que existam dois prováveis destinos para esta discussão. O primeiro é a visão de um futuro no qual consumidores optarão por instalar, gerenciar e comercializar a própria geração, revolucionando o modelo atual. No segundo, acredita-se que os futuros sistemas elétricos serão constituídos por uma combinação integrada de GD e centralizada, com a maior parte do modelo tradicional permanecendo intacta (Ipakchi, 2009).

Dentre os setores que compõe os SEP, o sistema de distribuição é o que possui maior relevância dentro da citada mudança. Em consequência da imersão de múltiplos geradores e das necessárias mudanças regulatórias e físicas que suportem a penetração de GD, nota-se a necessidade da estabilidade com relação ao custo do uso do sistema de distribuição, para que os cenários futuros consigam ser dimensionados, considerando seus impactos de forma justa.

Como características positivas da GD pode-se citar a redução das perdas, o aumento da confiabilidade, a diminuição do carregamento da rede, a redução das emissões e o adiamento em obras de melhoria na rede da distribuidora. Como características prejudiciais, pode-se imaginar um cenário onde a massiva penetração de GD na rede causaria o efeito contrário dos benefícios citados, aumentando o carregamento e as perdas e diminuindo os índices de confiabilidade. Dado o exposto, julga-se coerente que as políticas e regulamentos propostos sejam capazes de congregarem o incentivo à GD e sua taxa correta pelo uso da rede, a fim de que o crescimento da mesma se estabeleça saudável (Li, 2015).

A história da GD no Brasil é fundamental, principalmente, por falhas no planejamento

energético nacional. Um exemplo que elucidou o problema foi a crise do apagão no ano de 2000, onde a carga instalada sobrepôs a produção de energia.

Mediante à postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), promoveu a Consulta Pública nº 15/2010 (no período de 10/09/2010 a 09/11/2010) e a Audiência Pública nº42/2011 (no período de 11/08/2011 a 14/10/2011) a fim de implantar a GD no Brasil.

Apesar dos motivos já citados, outros aspectos foram considerados para implementação deste sistema: o menor tempo para solucionar a questão quando comparado à construção de novas usinas, linhas de transmissão e distribuição; o baixo impacto ambiental, a criação de serviços para implantação e manutenção destes sistemas, o aumento da eficiência da rede e a diversificação da matriz energética (Aneel, 2012),(Aneel, 2015).

A. Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015

No ano de 2012, a Resolução Normativa (REN) nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), possibilitou a geração da energia elétrica pelo próprio consumidor, a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Nessa mesma REN foi criado o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (net metering), permitindo que o excedente de energia gerado pudesse ser injetado no sistema de distribuição e ser utilizado posteriormente para desconto do consumo mensal (Aneel, 2012).

Foram definidas a microgeração distribuída, como central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e a minigeração distribuída, como central geradora de energia elétrica com potência instalada maior que 100 kW e menor que 1MW (Aneel, 2012).

Com o intuito de estimular a GD no Brasil e aumentar o público alvo, uma nova REN entrou em vigor (REN nº 687/2015) e trouxe atualizações às regras da micro e minigeração distribuída (MMGD). Estas alterações visaram principalmente a redução dos custos e do tempo de implantação da MMGD, além de soluções que, a prazo, alinham economia financeira, consciência ambiental e autossustentabilidade.

Inúmeras atualizações importantes foram consideradas, por exemplo, o aumento dos li-

mites de potência das fontes e do prazo de validade dos créditos de energia, o estabelecimento de novas figuras regulatórias contempladas pelo sistema de compensação e a redução nos prazos de solicitação de acesso ao sistema de distribuição (Aneel, 2018). As principais mudanças promovidas pela REN 687 são descritas abaixo (Aneel, 2015):

- Limite de potência instalada: as alterações começam no Art. 2º da REN 482, onde a potência instalada correspondente à microgeração distribuída, anteriormente menor ou igual a 100 kW, passou a ser menor ou igual a 75 kW. Já o limite da minigeração foi ampliado de menor ou igual 1 MW para 3 MW no caso das fontes hídricas, e 5 MW para a cogeração qualificada e demais fontes.
- Fontes permitidas: também é evidenciado neste artigo a ampliação das fontes permitidas para a MMGD, anteriormente composta por fontes de energia hidráulica, solar, eólica e biomassa ou cogeração qualificada, mantendo esta última e agora estendida qualquer fonte renovável de energia elétrica.
- Sistema de Compensação de Energia Elétrica: Ainda nesse Art. vale ressaltar a redefinição do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, cujo prazo da utilização dos créditos foi ampliado para 60 meses (Aneel, 2015).
- Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras: no parágrafo IV da REN 687 é incluído como modalidade regulatória o Empreendimento de Múltiplas Unidades Consumidoras, que contempla condomínios, atendendo unidades consumidoras localizadas na mesma propriedade ou em propriedades adjuntas (Aneel, 2015).
- Geração Compartilhada: dentre as modalidades regulatórias incluídas, a geração compartilhada possibilita que o consumidor, pessoa física ou jurídica, tenha acesso à rede de forma individual ou por consórcios e cooperativas, onde uma ou mais unidades consumidoras de titulares diferentes podem acessar à rede com a mesma compensação (Aneel, 2015).
- Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada (Aneel, 2015).

B. Expansão e Cenário Atual da GD no Brasil

Nesta seção será apresentada a análise da expansão da GD no Brasil desde o início da sua regulamentação. As tabelas e gráficos que se seguem, foram obtidos a partir do banco de dados da ANEEL no mês de junho do ano de 2020 (Aneel, 2020).

Como descrito na seção anterior, existem atualmente quatro modalidades regulatórias de GD no Brasil: autoconsumo remoto, geração compartilhada, geração na própria unidade de consumo e múltiplas unidades de consumo (condomínios). A Tabela I mostra os quantitativos e potências das modalidades. A geração na própria unidade de consumo (UC) lidera, com cerca de 3/4 da potência total instalada, seguida do autoconsumo remoto, com aproximadamente 23%. As duas outras modalidades têm participação relativamente pouco expressiva (IEA, 2020).

Tabela 1. Unidades consumidoras com geração distribuída

Modalidades	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência instalada (kW)
Autoconsumo remoto	41.447	124.899	718.735,00
Condomínios	189	703	4.534,95
Geração compartilhada	653	2.440	39.724,24
Geração na própria UC	252.082	252.082	2.951.952,35

Os efeitos da atualização da regulamentação foram notórios e a MMGD cresceu expressivamente no Brasil. A Fig. 1. ilustra a evolução da capacidade instalada, com um crescimento notório a partir do final de 2015, quando ocorreram as alterações mencionadas anteriormente. Também é possível observar a disparidade na participação da geração fotovoltaica em relação às outras fontes. A Fig. 2. ilustra a quantidade de agentes geradores e unidades consumidoras que recebem crédito. De 2016 para 2017 a capacidade instalada aumentou três vezes, finalizando o ano de 2017 com mais de 250 MW. De junho de 2018 para junho de 2019 a potência duplicou e a capacidade instalada superou 1GW, número acima das previsões da ANEEL e EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (MME, 2019). A análise dos gráficos também sinaliza uma desaceleração brusca nos números em 2020 que mesmo com queda de atividade econômica decorrente da pandemia da Covid-19, somente no primeiro semestre desse ano adicionou mais de 1.100 MW de potência total (Aneel, 2020).

Fig. 1. Crescimento da Capacidade Instalada de GD no Brasil (Produzida pelo autor)

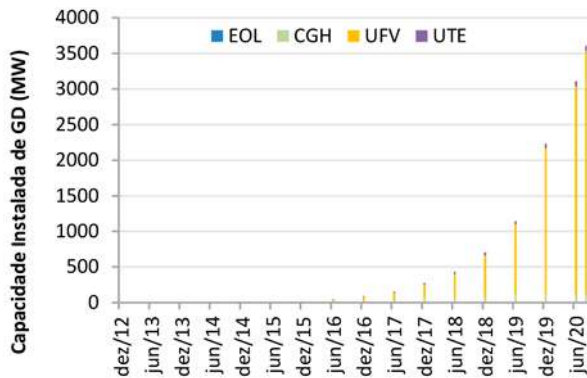
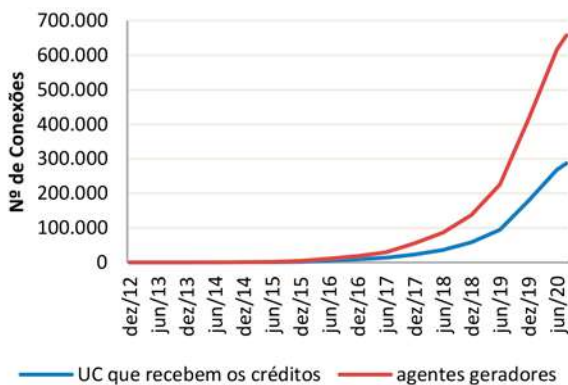


Fig. 2. Quantidade de Geradores e Participantes do Sistema de Créditos (Produzida pelo autor).

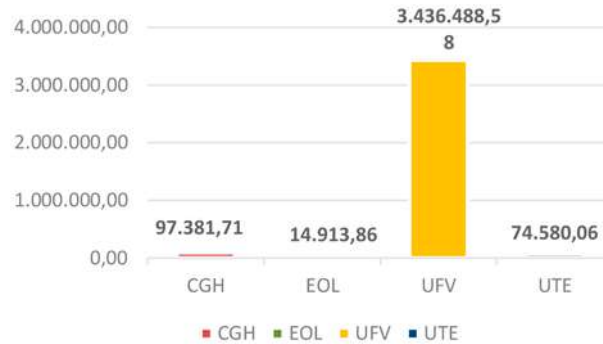


Em junho de 2019 a marca de 1 GW foi atingida, superando as expectativas que o setor tinha para a GD. Como comparação, no ano de 2018 foram instalados cerca de 400 MW de MMGD, o que representa a mesma capacidade adicionada em térmicas a gás natural, duas vezes o que foi instalado em térmicas a bagaço de cana, ou ainda três vezes a capacidade instalada de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) no mesmo ano (MME, 2019).

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), aponta que o Brasil alcançou do final de 2018 até o final de 2019, um total acumulado de 4.533 MW de energia solar fotovoltaica. Apenas em 2019, foram adicionados 2.120 MW, impulsionados pelo avanço da GD, que instalou 1.470 MW, e seguidos de 650 MW de geração centralizada. O país terminou o ano de 2019 com R\$ 24,1 bilhões em investimentos privados acumulados na fonte solar fotovoltaica, tendo gerado mais de 134 mil empregos acumulados desde 2012. Apenas no ano de 2019, o setor trouxe ao Brasil R\$ 10,7 bilhões em novos investimentos e mais de 63 mil empregos (ABSOLAR, 2020).

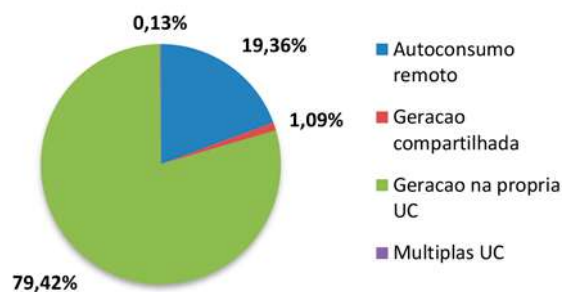
A Fig. 3 apresenta as percentagens de potência instalada de GD por tipo de fonte. A geração solar fotovoltaica tem a maior quantidade de unidades consumidoras, bem como a maior parcela de potência instalada, seguida pela geração hídrica, térmica e a eólica. As fontes hídricas e térmicas possuem a maior compensação de créditos em unidades consumidoras distintas de onde a GD está instalada.

Fig. 3. Percentagens de Potência Instalada de GD por Tipo de Fonte (Produzida pelo autor).



A Fig. 4 ilustra as percentagens de potência instalada de GD por modalidade regulatória. A geração na própria unidade consumidora é a principal categoria. Com a criação das novas modalidades em 2015, em média 18% das novas instalações estão entre autoconsumo remoto e geração compartilhada (Aneel, 2018).

Fig. 4. Percentagens de Potência Instalada de GD por Modalidade (Produzida pelo autor).

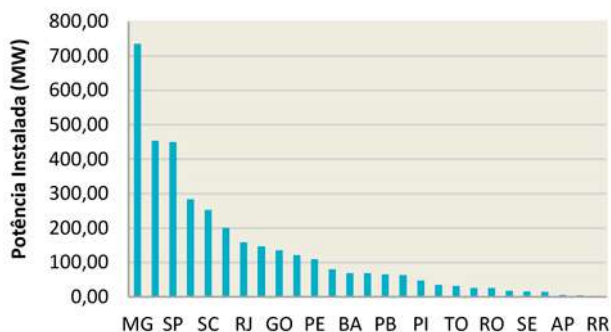


Em 2015, o Conselho Nacional de Políticas Fazendárias (CONFAZ), autorizou aos estados conceder isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) à energia compensada pelo sistema de créditos. A convenção 16/15 (Convenio ICMS 16/2015) isenta os proprietários de sistemas de energia solar com capacidade de geração de até 1 MW do pagamento do ICMS estadual sobre vendas, no âmbito do programa de medição líquida.

Diversos estados brasileiros estão aderindo à isenção do ICMS (Aneel, 2018). Os estados de

Minas Gerais e Rio Grande do Sul são pioneiros na isenção e, conforme apresentado na Fig. 5, são os estados que possuem maior capacidade instalada, reforçando o papel do incentivo tributário.

Fig. 5. Quantidade de Geradores e Participantes do Sistema de Créditos (Produzida pelo autor).



Como incentivo adicional para maior adesão dos consumidores à GD, em 2015, a Lei 13.169 estabeleceu isenção das alíquotas referentes à energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, da Contribuição para o Programa de Integração Social (PIS), Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) (LIMA, 2017).

EMBATE DE INTERESSES NA REVISÃO DA REGULAMENTAÇÃO DA GD

Conforme descrito anteriormente, as atualizações da REN 482 mantiveram o mecanismo do Sistema de Compensação de Energia, no qual a energia injetada na rede da distribuidora desconta integralmente a energia consumida. Logo, a tarifa correspondente a energia injetada pela GD contempla na mesma taxa o valor da energia gerada, seu transporte, os encargos setoriais e os tributos (Aneel, 2015). Atualmente um novo processo de revisão está em curso, sendo o atual Sistema de Compensação de Energia Elétrica uma das pautas divergentes (Aneel, 2012).

Segundo o Plano Decenal de Energia 2029 (PDE), o estudo da MMGD considera que os resultados da expansão variam proporcionalmente à opção de aplicação ou não da tarifa binômica. O aumento do volume de instalações deixa dúvidas com relação à sustentabilidade da manutenção das regras atuais da MMGD. As distribuidoras têm custos fixos e variáveis em sua tarifa e o gerador de MMGD, ao reduzir sua conta, deixa de contribuir com as duas parcelas, embora não reduza os dois custos (ele continua

fazendo uso da rede). Logo, os custos fixos são repassados aos demais consumidores, através de aumentos na tarifa (MME, 2019).

Alguns países moldaram as políticas de tarifas-prêmio para os geradores pela energia injetada na rede, o que mostra que a revisão da regulamentação da MMGD está ocorrendo internacionalmente. No Brasil existem dois processos de revisão de regulamentação com impactos sobre a MMGD que estão sendo promovidos pela ANEEL. Um deles é o da revisão da REN 482 com relação ao sistema de compensação de energia, e o outro é sobre o modelo tarifário da baixa tensão, que afeta todos os consumidores atendidos nessa tensão, mas também tem impactos nos micro e minigeradores (MME, 2019).

A. Sistema de Compensação de Energia (*Net Metering*)

Por net metering entende-se um arranjo regulado em que consumidores com geração de eletricidade local podem receber créditos pela geração excedente, que podem ser aplicados para compensar o consumo em outros períodos de faturamento. Na medição líquida, os clientes normalmente recebem crédito no nível do preço da eletricidade no varejo. Sob o faturamento líquido, os clientes normalmente recebem crédito pelo excesso de energia a uma taxa inferior ao preço da eletricidade no varejo. Diferentes jurisdições podem aplicar estes termos de maneiras diferentes, no entanto (REN 21, 2020).

Políticas de net metering são adotadas por 70 países em nível nacional, contabilizados até o final de 2019. Várias províncias e estados dos Estados Unidos e Canadá também possuem políticas de net metering em nível subnacional (REN 21, 2020). Nos Estados Unidos, a política adotada fornece evidentemente mais suporte para GD que geração centralizada. Apesar de serem mecanismos de incentivo importantes no estabelecimento da GD, os custos públicos com a adoção destas políticas são substanciais. Na Europa, por exemplo, as tarifas feed-in, são maiores para plantas solares distribuídas que para centralizadas (Burger, 2019).

Regulamentos que fomentam a implantação de GD renováveis contêm mandatos solares, feed-in e net metering, assim como medidas que apoiam a implementação dessas gerações para a sociedade, como políticas de energia solar comunitária ou investimento em modernização da rede, por exemplo. A Califórnia implementou em 2019 um mandato que impõe a energia solar fotovoltaica de telhado para a maioria das novas casas, que entrou em vigor em 2020 e se tornou

o primeiro estado do país a tornar obrigatório o uso da energia solar (REN 21, 2020).

B. Composição da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD)

Analisando como é composta a tarifa de energia elétrica, pode-se dividi-la em três custos distintos por parte da distribuidora: a energia gerada, seu transporte até a unidade consumidora (UC) e os encargos setoriais. Além da tarifa, na conta de energia elétrica do consumidor é cobrado o PIS/CONFIS pelo governo federal, o ICMS pelo governo estadual e a contribuição para iluminação pública governo municipal (Pv magazine, 2019).

Sobre a energia gerada, menciona-se a competição entre vendedores em decorrência dos leilões públicos, que desde 2004 influencia o valor da energia adquirida das geradoras pelas distribuidoras. Para o transporte de energia, parte-se em dois seguimentos complementares: transmissão, que conecta as distribuidoras às geradoras, e geração, que entrega a energia ao usuário final. É notório que não há viabilidade econômica para competição referente à essa parte do transporte, sendo naturalmente monopolizado. Por consequência, a ANEEL opera planejando custos eficientes para a tarifa correspondente. Os encargos setoriais e os tributos são instituídos por leis, não tendo relação com o órgão regulador, sendo que alguns incidem sobre o custo da distribuição, outros justapostos nos custos de geração e transmissão (Pv magazine, 2019).

Os custos das distribuidoras são classificados em parcela A e parcela B, sendo a parcela A respectiva à compra de energia, transmissão e encargos setoriais e parcela B à distribuição de energia. Atualmente, os custos da parcela A representam a maior parcela no valor final (53,5%), seguido dos custos tributários (29,5%), e os custos da parcela B (17%) (Aneel, 2015). Portanto, dentre as componentes da TUSD, apresenta-se (Aneel, 2005):

- TUSD - Fio A: correspondendo ao custo do uso da transmissão ou redes de distribuição de outras distribuidoras;
- TUSD - Fio B: correspondente ao custo do serviço prestado pela distribuidora;
- TUSD - Encargos do Serviço de Distribuição: referente ao custo dos encargos vinculados ao serviço de distribuição de energia;
- TUSD - Perdas, contemplando perdas elétricas técnicas e não técnicas.

C. Perspectivas das Novas Regras para GD no Brasil

Apesar de fomentar o crescimento MMGD, a compensação integral da energia gerada está sendo questionada e os debates atuais referem-se aos contrastes de opiniões entre as distribuidoras de energia e os consumidores que aderiram a MMGD. De um lado, as distribuidoras de energia questionam o atual sistema de compensação, afirmando que este não remunera de maneira adequada o uso da rede de distribuição, além de transferir custos aos consumidores que não utilizam geração própria. Por outro lado, consumidores que optam pela GD pontuam os benefícios da GD à sociedade e defendem o atual modelo. Isso ocorre porque a rede funciona como uma bateria, armazenando a energia excedente e quem paga por este serviço são os consumidores que não possuem a geração própria (Aneel, 2015).

Esta disputa de interesses provocou a atuação do órgão regulador sobre o conflito. Em dezembro de 2019, a ANEEL divulgou o Relatório de Análise de Impacto Regulatório (AIR) nº 0004/2018, que além das informações coletadas ao longo da vigência da REN nº482, também teve como base a Consulta Pública (CP) nº 10/2018. Esse AIR visou propor um ambiente em que a MMGD pudesse se desenvolver de forma sustentável, reduzindo eventuais transferências de custos aos demais usuários das redes de distribuição, através da sugestão de alternativas que serão melhores descritas no decorrer deste trabalho.

Ainda em 2019, objetivando obter subsídios para a AIR sobre o aprimoramento das regras aplicáveis à MMGD, a ANEEL realizou as Audiências Públicas (AP) 001/2019 e 040/2019, vinculadas à CP 025/2019, que disponibilizou o relatório 003/2019, que faz parte do processo em curso de revisão da REN 482, apontando as mesmas alternativas do relatório anterior, mas sugerindo a adoção imediata da alternativa 5.

Conforme citado anteriormente, o AIR disponibilizado na Audiência Pública 001/2019 investiga seis possíveis alternativas para mudanças no sistema de compensação de energia elétrica, que se distinguem pela maneira que valoram e compensam a energia injetada na rede, estabelecendo a porcentagem da tarifa de fornecimento. Sintetizando cada alternativa para melhor entendimento (Aneel, 2018):

- Alternativa 0: a compensação da energia injetada na rede se dá por todas as componentes da TUSD e da TE. Não há mudanças, o sistema de compensação continua operando baseado na mesma regulamentação. Ou seja, toda

energia excedente produzida pelo consumidor poderá ser inserida na rede, que funciona como uma bateria com 100% de rendimento, posteriormente entregando o mesmo quantitativo. Logo, a fatura mensal será correspondente ao valor líquido ao final do mês;

- Alternativa 1: a componente de transporte fio B incidiria sobre toda a energia consumida da rede. As demais componentes tarifárias continuariam incidindo sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede. Isso corresponderia ao transporte na distribuição da energia consumida ou armazenada ser tarifado em 28% do valor do kWh utilizado, o que pode ser entendido como a rede funcionando como uma bateria com 72% de rendimento.
- Alternativa 2: as componentes referentes ao transporte (fio A e fio B) incidiriam sobre toda a energia consumida da rede. As demais parcelas da tarifa continuariam incidindo sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede. O produtor pagaria por todo transporte na distribuição e na transmissão da energia consumida, equivalendo em média a 34% do valor do kWh utilizado. Ou seja, o retorno seria de 66% da energia injetada.
- Alternativa 3: equivalente à alternativa anterior, mas incluindo a parcela de encargos da TUSD entre as componentes que seriam aplicáveis a todo o consumo de energia registrado na unidade. O acréscimo dos encargos totalizaria aproximadamente 41% do valor do kWh consumido, ou seja, a UC teria acesso a cerca de 59% da energia que injetou na rede.
- Alternativa 4: com esta alternativa, as componentes da TE incidiriam sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede, de maneira que a TUSD continuaria incidindo sobre toda a energia consumida da rede. Somado aos custos da Alternativa 3, o consumidor também pagaria pelas perdas no transporte de energia, representando cerca de 49% do valor do kWh utilizado. A bateria retornaria ao consumidor aproximadamente 51% da energia utilizada.
- Alternativa 5: neste caso, incide toda a TUSD e os encargos e demais componentes da TE. Apenas a componente de Energia da TE incidiria sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede, as demais componentes tarifárias incidiriam sobre toda a energia consumida da rede. Ou seja, com exceção da parcela da compra de energia, todas as tarifas seriam pagar na íntegra pelo mini ou

micro gerador. Essa proposta equivale à aproximadamente 63% do valor do kWh utilizado. A bateria retornaria 37% da energia injetada.

Até o presente relatório, a análise técnica da ANEEL julga válida manter a alternativa zero até a marca de 3,365 GW de potência instalada e posteriormente adotar a alternativa 1. Neste cenário, considerando a alternativa 1 em vigor, estima-se que seria atingida a marca de 17 GW de micro e minigeração local em 2035, implicando na redução de quase 60 milhões de toneladas de CO₂ e na geração de cerca de 433 mil empregos (Aneel, 2019).

Já no AIR nº 003/2019, na versão pós-participação pública, que atualizou o AIR nº 004/2018, houve o intuito de definir a alternativa que resulta na cobrança pertinente aos custos de uso da rede pelos micro e minigeradores e, ao mesmo tempo, mantém o desenvolvimento da tecnologia, concluindo que a Alternativa 5 atende a tais premissas (Aneel, 2019).

Este relatório alega que a permanência das regras atuais no caso da MMGD local pode levar a custos na ordem de 23 bilhões para os consumidores que não instalem a geração própria, acumulados no período entre 2020 e 2035. Ainda assim, os cálculos apresentados indicam que a aplicação da Alternativa 2, quando iniciada a vigência da nova norma, e a posterior aplicação da Alternativa 5, quando atingida a potência instalada de aproximadamente 5,9 GW em todo o país, resultariam em 11,7 GW instalados até 2035, com uma redistribuição de custos aos demais agentes da ordem de R\$ 1 bilhão no período de análise. Por outro lado, no cenário proposto, há indícios otimistas de que o setor elétrico tenha um Valor Presente Líquido (VPL) positivo, diante dos potenciais benefícios da GD (Pv magazine, 2019).

Em resumo, segundo o órgão regulamentador, a estratégia apresentada nesta AIR permitiria que o mercado de GD se desenvolvesse de forma sustentável, alcançando quase 12 GW em 2035, reduzindo de R\$ 55 bilhões para R\$ 1 bilhão os custos a serem redistribuídos aos demais usuários no período entre 2020 e 2035, com altas chances de que os benefícios potenciais da micro e minigeração sejam revertidos para sociedade (VPL positivo para o setor) (Pv magazine, 2019).

A alternativa proposta mobilizou mais de 800 pessoas de inúmeros estados, incluindo empresários, trabalhadores e consumidores de energia solar a participarem da Audiência Pública nº 40/2019, usando capacetes amarelos, em protesto (Jornal de Brasília, 2019).

Em vista da necessidade de uma maior segurança jurídica e do consequente impasse gerado pela proposta da alternativa 5 da ANEEL, tramita na Câmara dos Deputados o projeto de lei que prevê a criação de marco regulatório, prosseguindo com os benefícios para os produtores que já possuem painéis solares instalados. O projeto específico da GD tem três eixos centrais: incentivo à energia solar em todo o país, auxílio na popularização do uso da tecnologia fotovoltaica e criação de um mecanismo equilibrado entre os consumidores e as distribuidoras de energia elétrica (Portal Solar, 2020).

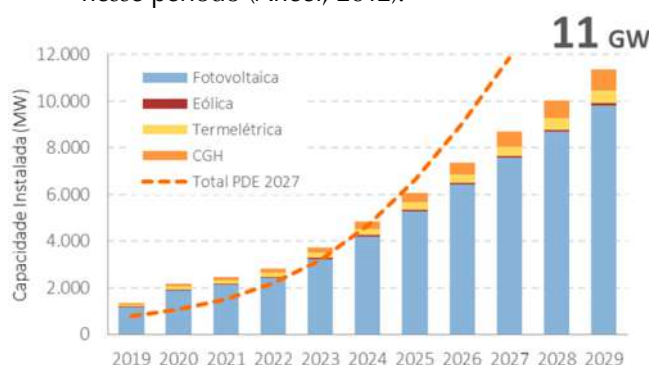
O deputado federal Lafayette de Andrada é o autor do projeto e seu texto propõe a cobrança pelo uso da rede das distribuidoras de maneira gradual, iniciando com um pagamento

de 10% da TUSD a partir de 2022 e a cada biênio a GD entraria em um processo de diminuição gradual dos estímulos, atingindo a cobrança máxima em dez anos (Portal Solar, 2020).

PERSPECTIVAS FUTURAS

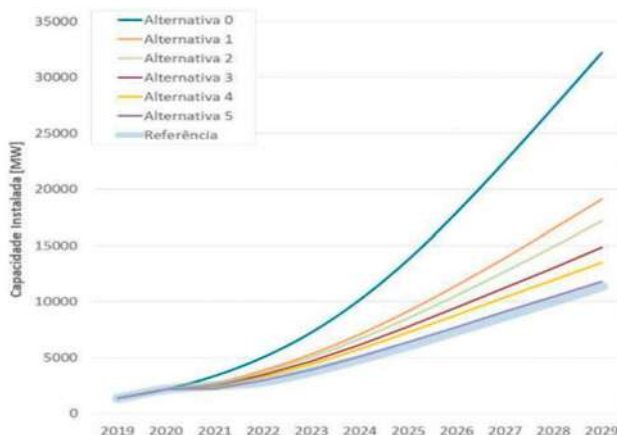
A previsão do PDE indica que em 2029 haverá 1,3 milhão de usuários de MMDG, totalizando 11,4 GW, conforme exposto na Fig. 6. Esta potência exigirá quase R\$ 50 bilhões em investimentos ao longo do período. A previsão é que capacidade de energia instalada contribua com uma geração de 2.300 MW médios, suficiente para atender 2,3% da carga total nacional nesse período (Aneel, 2012).

Fig. 6. Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída (Plano Decenal de Expansão de Energia 2029)



Devido à incerteza da alternativa que entrará em vigor, o EPE realizou algumas simulações com diferentes alternativas de compensação e aplicação ou não de tarifa binômica. Os resultados variam de 9 GW a 32 GW, dependendo da combinação regulatória, evidenciando a sensibilidade da variação mediante a opção de taxaço, como mostra a Fig. 7.

Fig. 7. Sensibilidade Regulatória na Projeção de Micro e Minigeração Distribuída (Plano Decenal de Expansão de Energia 2029)



CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o contexto atual da GD no Brasil: o histórico da legislação e a regulamentação vigente, a análise dos impactos das recentes atualizações e o embate de interesses para as novas regras.

Em relação a evolução da GD no país, observou-se um expressivo crescimento, sobretudo com as atualizações da REN 687/2015. No tocante à capacidade instalada e quantidade de instalações, a fonte solar fotovoltaica é dominante, sendo as fontes hídrica e térmica as que mais configuram compensação remota. A geração

na própria unidade consumidora é a modalidade mais utilizada e o setor residencial responde pelo maior número de instalações, sendo a classe comercial a que conta com maior capacidade instalada de GD.

Na análise das propostas para as novas regras do sistema de compensação, pontuou-se a divergência de interesses entre distribuidoras e apoiadores da MMGD. A alternativa 5 propos-

ta pela ANEEL não foi recebida com êxito pelos players do setor de GD, o que adia a revisão da regulamentação e provavelmente indica o caminho de um PL como novo marco regulatório da GD.

Por fim, ressalta-se a importância da investigação apresentada neste trabalho, para que as novas regras da GD no Brasil potencializem o seu uso e equilibrem os interesses para todos os segmentos da sociedade.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. A força da energia solar em tempos de pandemia. Artigo publicado na Revista FotoVolt. 2020. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/a-forca-da-energia-solar-em-tempos-de-pandemia.html>. Acesso em: 06 ago. 2020.
- A. Ipakchi and F. Albuyeh, "Grid of the future," IEEE Power Energy Mag., vol. 7, no. 2, pp. 52–62, Mar. 2009.
- Aneel. Resolução Normativa No 482. Brasília, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso: 05 abril 2020.
- Aneel. Resolução Normativa No 687. Brasília, 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 08 abril 2020.
- Aneel. Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+-Modelo+de+AIR++SRD++Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida.pdf/769daa1c-51af-65e8-e4cf-24eba4f965c1>. Acesso em: 23 maio 2020.
- Aneel. Micro e Minigeração Distribuída. 2020. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/scg/gd/VerGD.asp>>. Acesso em: 15 de jun. de 2020.
- Aneel. Entendendo a tarifa. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa>. Acesso em: 03 jun. 2020.
- Aneel. Componentes da tarifa de uso dos sistemas de distribuição de energia elétrica -turd. 2005. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>. Acesso em: 03 jun. 2020.
- Aneel. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 003/2019-SRD/SGT/SRM/SRG/SCG/SMA/ANEEL – Versão Pós-Participação Pública. 2019. Acesso em: 03 jun. 2020.
- Aneel. Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012 – atualizado em 25/05/2017 Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/>. Acesso em: 08 ago. 2020.
- EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019, 2018 e 2017. Workbook. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 20 de jun. de 2020.
- F. Li et al., "Distribution Pricing: Are We Ready for the Smart Grid?," IEEE Power Energy Mag., vol. 13, no. 4, pp. 78–86, Jul. 2015.
- IEA. System integration of renewables Decarbonising while meeting growing demand. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/system-integration-of-renewables>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- Jornal de Brasília. Capacetes amarelos: grupo protesta contra taxaço do sol. 2019. Disponível em: <https://jornaldebrasil.com.br/economia/capacetes-amarelos-grupo-proteta-contr-taxacao-do-sol/>. Acesso em: 03 jun. 2020.
- LIMA, J. P. B. M. P. - Geração Distribuída no Brasil: Análise Regulatória e Viabilidade Financeira Sob a Perspectiva da Resolução Normativa nº687. Rio de Janeiro: CEFET, 2017.
- Ministério de Minas e Energia. Plano decenal de expansão de energia 2029. 2019. Disponível em: http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=a18d104e-4a3f-31a8f2cf382e654dbd20&groupId=36189. Acesso em: 23 maio 2020.
- Portal solar. Câmara deve retornar discussões do marco legal para energia solar na esteira de pauta ambiental. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/camara-deve-retomar-discussoes-do-marco-legal-para-energia-solar-na-esteira-de-pauta-ambiental.html>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- Pv magazine. Solar distributed generation set for another record year in Brazil. 2019. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2019/05/07/solar-distributed-generation-set-for-another-record-year-in-brazil/>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- Pv magazine. Solar distributed. 2019. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2019/05/07/solar-distributed->. Acesso em: 10 ago. 2020.
- REN21. 2020. Renewables 2020 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat.
- R. Ferreira, P. H. Corredor, H. Rudnick, X. Cifuentes, and L. Barroso, "Electrical expansion in South America: Centralized or distributed generation for Brazil and Colombia," IEEE Power Energy Mag., vol. 17, no. 2, pp. 50–60, Mar. 2019.

Dados dos autores

Beatriz da Silva Reis (beatriz.reis@aluno.cefet-rj.br). Graduação em engenharia elétrica, Cefet/RJ - campus Nova Friburgo.

Paulo Victor de Souza Borges (paulo.souza@cefet-rj.br). Mestrado, Cefet/RJ - campus Nova Friburgo.

SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA REÚSO DE ÁGUA EM INSTITUIÇÃO PÚBLICA

Myrna da Cunha

Alexandre Martinez dos Santos

João Terêncio Dias

Cecília de Lauro Antunes

Alexsandro Rodrigues Martins

RESUMO: Reconhecendo o valor ambiental, social e econômico da água, que é um recurso natural limitado, é preciso buscar o seu uso sem desperdício. Nesse sentido, este estudo analisa uma alternativa para economizar água potável no *campus* Maracanã do Cefet/RJ e conscientizar alunos e funcionários da importância dessa ação. Para isso, uma estação de reúso de águas pluviais foi construída. Inicialmente, existia a expectativa de grande economia de água potável com o reúso da água de chuva. Para se obter esse indicador, um hidrômetro foi instalado na estação para monitorar a quantidade de água utilizada. Foi constatado que a utilização estava aquém do esperado, acredita-se, devido à falta de treinamento e/ou conscientização dos funcionários da limpeza e jardinagem. Então, foi implementado um questionário para coleta de dados, um processo de treinamento/conscientização e um estudo de estratégias para ampliar o projeto.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável. Aproveitamento de água de chuva. Conscientização ecológica.

ABSTRACT: Recognizing the environmental, social and economic value of water, which is a limited natural resource, it is necessary to seek its use without waste. In this sense, this study analyzes an alternative to save drinking water on the Maracanã campus of Cefet/RJ and to make students and employees aware of the importance of this action. For this purpose, a rainwater reuse station was built. Initially, there was an expectation of great savings in drinking water with the reuse of rainwater. To obtain this indicator, a water meter was installed at the station to monitor the amount of water used. It was found that the use was less than expected, perhaps, due to the lack of training and/or awareness of cleaning and gardening employees. Then, a questionnaire for data collection was implemented, a training/awareness process was initiated, and strategies were studied to expand the project.

Keywords: Sustainable development. Use of rainwater. Ecological awareness.

INTRODUÇÃO

A água é um bem inestimável para o planeta Terra. A fauna, a flora e o ser humano não conseguem viver sem esse elemento fundamental. Para a natureza, é essencial, mas também é para diversos tipos de indústrias que não conseguiriam sobreviver sem a sua utilização (MIRANDA *et al.*, 2006). Esse recurso é utilizado por grandes, médias e pequenas empresas, dos mais variados ramos produtivos. A água é usada para resfriar maquinários, produzir energia ou no próprio processo industrial (CARVINATTO, 2003), além de ser essencial para a lavoura e para a pecuária, não sendo possível essas atividades perdurarem sem o seu emprego. Inúmeros sistemas de produção dependem da água de forma incondicional, mas pouco se tem feito para preservar esse elemento tão importante.

Diversas pesquisas mostram que, apesar de o planeta Terra ser formado por uma quantidade enorme de água, não é viável utilizar toda sua reserva hídrica (CARVINATTO, 2003). Esta, na sua maioria, é formada por oceanos (97,5%) e somente 2,5% são constituídas de água doce, sendo que, 68,9% desta são de calotas polares e geleiras e o restante (31,1%) é a água que realmente podemos utilizar (MIRANDA *et al.*, 2006).

Por ser finita e estar se tornando escassa, a água, nos dias atuais, é um tema de grande importância e ocupa grande parte das agendas dos governos e de instituições com responsabilidades em torno da vida e do desenvolvimento socioeconômico. Na reunião da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (RIO+10) realizada em 2002, em Joanesburgo, foram reconhecidos o desperdício e a falta de cuidado com a água como os desafios mais críticos que o mundo enfrenta (MIRANDA *et al.*, 2006, p. 29).

Portanto, existe uma necessidade de se discutir esse tema, conscientizar as pessoas e as empresas sobre sua importância, buscar soluções adequadas para os desperdícios existentes, economizar água potável e utilizá-la somente para o que for necessário. Não se pode deixar de cumprir o sexto objetivo dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que visam garantir disponibilidade de água e saneamento para todos. O primeiro passo para isso é observar os hábitos das pessoas, as suas atividades e os processos de cada empresa.

DESENVOLVIMENTO

A Gestão Ambiental, muitas vezes, é considerada um problema dentro das instituições públicas no Brasil, mas o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ) vem, há vários anos, fazendo e melhorando as ações sustentáveis dentro da instituição. Atitudes sustentáveis têm sido valorizadas, independentemente de serem feitas por servidores e/ou alunos, motivando a participação de um número cada vez maior de pessoas. Uma das principais ações da administração nesse sentido foi a criação da Divisão de Estratégia para Sustentabilidade Ambiental Institucional (DISAI), que desenvolveu o Plano de Gestão de Logística Sustentável (PLS) do Cefet/RJ. Através do PLS, a administração-geral do Cefet/RJ consegue saber quais são as legislações existente e as mais atuais, em quais se encaixa, e pode organizar metas adequadas para a instituição:

A gestão pública sustentável parte da premissa de que a Administração Pública deve priorizar a transparência, a honestidade e a competência para buscar bons resultados operacionais com foco na sustentabilidade. Assim sendo, busca-se nos Objetivos Globais de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que foram propostos em uma Agenda desenvolvida em 2015 por 193 Estados-Membros da ONU - a Agenda 2030 (ONUBR, 2015), uma consonância com as práticas sustentáveis locais e regionais. (CEFET/RJ, 2018)

Além disso, o PLS tem um objetivo geral traçado, que gera um caminho para todos os servidores administrativos, orienta os professores e motiva os alunos. Todas essas atitudes por parte da administração tornam as ações mais sustentáveis e incentivam o desenvolvimento de práticas que vão ao encontro desse propósito. Muitos professores que já desenvolviam trabalhos e projetos na área sustentável começaram a conhecer outros projetos, motivando novas e antigas práticas sustentáveis, que envolviam gerar menos resíduos, economizar energia, reduzir o desperdício de água e várias outras iniciativas.

O projeto-piloto de reúso de águas pluviais surgiu a partir dessa “movimentação sustentável”, ou seja, de conversas entre professores, de aulas de proteção ambiental com os alunos de Segurança do Trabalho, da participação no Comitê de Sustentabilidade Ambiental Institucional (COSAI) e na Comissão Central de Coleta Seletiva Solidária (CCCSS), além da percepção de alguns professores de que deveriam ser criados dispositivos para evitar o desperdício de água e/ou o mau uso desse recurso dentro do Cefet/RJ.

Quando se fala em reúso de águas pluviais, o primeiro pensamento é saber onde a água não potável pode ser utilizada. Nesse sentido, destacam-se: sanitários, irrigação, lavagem de calçadas, entre outros. Outra questão é verificar quais são as atividades existentes no local que podem trabalhar com água não potável. Alguns professores tinham a percepção de que determinadas atividades poderiam ser executadas com águas pluviais, mas uma pesquisa sobre esse assunto precisava ser feita. Nesse momento, nasceu a ideia do projeto de reúso de águas pluviais.

No início do projeto, os professores e alunos, saíram pelo *campus* à procura de atividades e locais que poderiam utilizar água não potável. Foi fácil verificar que são os mesmos já citados – limpeza de piso, rega de plantas e vasos sanitários –, mas este último demandaria um custo muito alto com obras, então os participantes do projeto decidiram que, a princípio, iriam focar em atividades de limpeza de piso e rega de plantas.

Essa primeira pesquisa mostrou que essas atividades desperdiçavam muita água potável, os jardins eram regados várias vezes ao dia, e, aos sábados, os pisos de todos os blocos e pavilhões do *campus* eram lavados com mangueiras. Mesmo sem nenhum levantamento mais apurado, se percebe que, mudando algumas formas de trabalho, poderíamos economizar muita água potável. Conforme descrevem Trigo *et al.* (2018): “Através de uma política de reúso de água, uma quantidade considerável de água potável poderá ser preservada para usos mais nobres. Como isso, água de qualidade inferior pode ser utilizada em atividades menos nobres”.

Além das atividades, também foi feito um levantamento dos locais mais apropriados para a colocação dos reservatórios para coleta de água de chuva. A constatação ocorreu rapidamente, pois a maioria dos blocos e pavilhões tinha descidas de tubulações de águas pluviais dos telhados. A instalação poderia ser em qualquer um desses lugares, dentro da instituição, onde existissem jardins e pisos.

Em paralelo, se buscou subsídio para o desenvolvimento da construção do reservatório. A empresa EcoCasa, através de sua subsidiária Unicom, ministrou uma palestra de capacitação e os professores e alunos recorreram à norma NBR 15527:2007 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos) para ter conhecimento sobre o assunto. Após essa etapa, o planejamento e a construção da primeira caixa de coleta de águas pluviais do *campus* tornou-se possível.

Segundo Lakatos (2005), essa pesquisa é considerada qualitativa, pois não se preocupa com reprodução numérica, mas sim com a compreensão de uma instituição. Visa viabilizar a construção de reservatórios de água de reúso para conscientização de servidores e alunos, reduzir o desperdício de água potável e demonstrar que existem várias utilizações para a água não potável.

METODOLOGIA

O local escolhido para a instalação do reservatório de águas pluviais (estação-piloto) foi o Bloco I, pois lá existe um jardim, os pisos são lavados aos sábados e há um local onde a caixa pode ser instalada. A construção dos reservatórios pode ser considerada uma pesquisa documental, segundo Silveira (2009), por ser baseada na norma NBR 15527:2007. O principal método para o cálculo de reservatórios foi retirado da norma NBR 15527. Segundo a ABNT (2007), “o volume do reservatório de água pluvial deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais. O projetista é o responsável pela seleção de qualquer um dos seis métodos apresentados no documento, desde que a escolha seja justificada”.

Dentre vários métodos dessa norma, foi seguido o método prático inglês, em que o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,05 \times P \times A$$

onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L).

O valor numérico da precipitação média anual foi obtido através do *site* clima-data.org, que fornece valores mensais e anuais de continentes, países, regiões e locais. Foi selecionado o Rio de Janeiro e se obtiveram os dados pluviométricos da tabela 1.

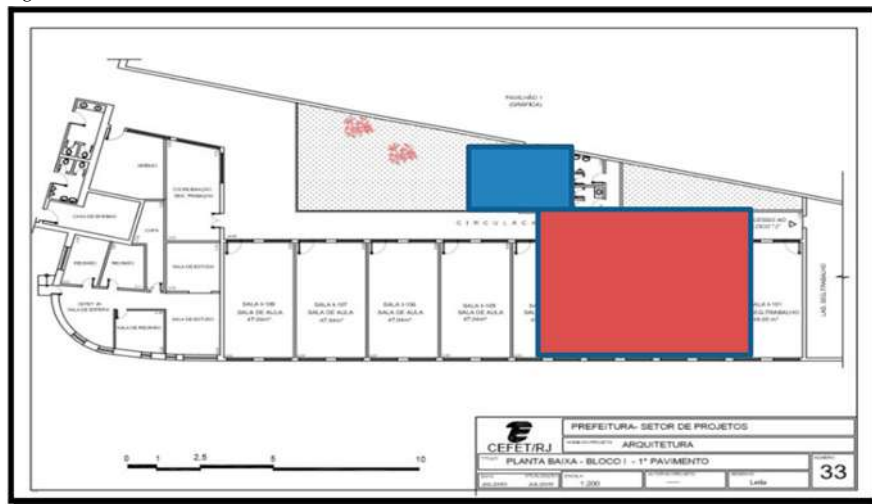
Tabela 1: Dados pluviométricos da cidade do Rio de Janeiro

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.1	26	25.2	23.6	21.8	20.9	20.6	21	21.7	22.5	23.8	24.8
Temperatura mínima (°C)	22.3	22.4	21.7	20.1	18.2	17	16.7	17	18	19	20.3	21
Temperatura máxima (°C)	30	29.7	28.8	27.2	25.5	24.9	24.5	25	25.4	26.1	27.3	28.2
Chuva (mm)	149	147	147	130	93	58	55	59	78	103	118	145

Nos cálculos, obteve-se o valor numérico de precipitação média anual de 1.278 mm. E o *site* (CLIMA-DATA.ORG, 2019) corrobora com esta informação: “No Rio de Janeiro na maioria dos meses do ano existe uma pluviosidade significativa. Só existe uma curta época seca e não é muito eficaz. Rio de Janeiro tem uma temperatura média de 23.2 °C. A média anual de pluviosidade é de 1.278 mm”.

O valor numérico da área de coleta em projeção foi calculado através das plantas baixas dos telhados do Cefet/RJ (Figura 1). Como o Bloco I foi escolhido para a estação-piloto, as áreas de dois telhados foram utilizadas, pois o reservatório recebe água destes. O primeiro telhado tem uma área de 15 m² e o segundo de 80 m², totalizando uma área de 95 m².

Figura 1: Planta do Bloco I, com as áreas dos telhados de 15 m² (Azul) e 80 m² (vermelha)



Após o uso da fórmula obtida na NBR 15527, $V = 0,05 \times P \times A$, obteve-se o volume para caixa de reúso de águas pluviais de 6,0 m³ ou 6.000 litros.

Para verificar o nível de conscientização dos funcionários da empresa de conservação (limpeza e jardinagem) sobre o desperdício de água potável dentro do *campus*, foi construído um questionário cuja preocupação era verificar se eles sabiam quanto de água cada equipamento e/ou atividade gastava por minuto, quais eram os locais onde se gastava mais desse recurso e se eles utilizariam água de reúso. A coleta de dados foi realizada no ano de 2019, sendo utilizado um questionário com perguntas pré-formuladas. O instrumento da pesquisa possui 12 perguntas¹ (diretas e indiretas).

¹ Link para acesso ao questionário: <https://docs.google.com/forms/d/1x0PEymk5zySslbC1eaVuTKaARY5xRVBr3FzGNQv7t38/edit>

RESULTADOS

Estação de reúso de água pluviais

Em junho de 2019, a primeira estação de reúso de águas pluviais foi instalada no *campus*, com o objetivo de conscientizar as pessoas, verificar suas possíveis utilizações e levantar a economia de água potável obtida com a iniciativa.

Do planejamento à execução do reservatório, ocorreram vários obstáculos. Primeiramente, a falta de verba para a execução da estação. A empresa EcoCasa forneceu um orçamento de aproximadamente R\$ 8.500,00, que estava fora da realidade dos recursos financeiros do projeto. A solução foi optar por materiais usados e pela substituição de algumas peças. A Figura 2A

mostra a proposta da EcoCasa, que utilizava materiais caros, todos fabricados e vendidos por ela. Mas se optou por fazer ou adaptar peças mais baratas, inclusive a caixa. No final, as únicas peças compradas na EcoCasa foram o filtro para recolhimento de sujeiras maiores (Figura 2B) e um ladrão para escoamento da água quando a caixa fosse transbordar (Figura 2C).

Figura 2A: Projeto da EcoCasa

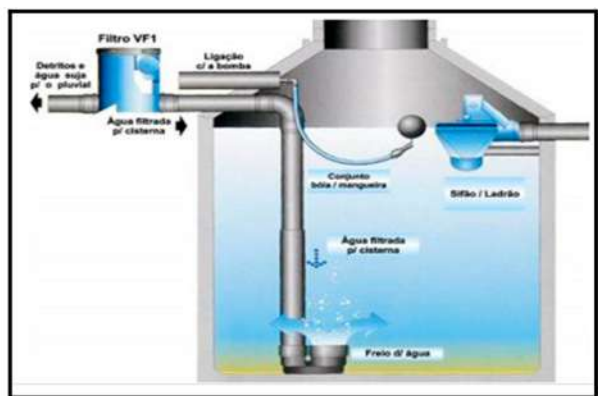


Figura 2B: Filtro



Figura 2C: Ladrão



Alguns professores financiaram as peças e a caixa, e o Cefet/RJ forneceu as tubulações, as conexões e a mão de obra para a instalação. O projeto recebeu muita ajuda, por esse motivo não foi levado em consideração o custo final. A caixa de água, pelo projeto, seria de 5.000 litros, mas, por questões técnicas de instalação, o grupo optou por um reservatório de 2.500 litros. As Figuras 3A e 3B mostram a caixa instalada no Bloco I. A estação de reúso de águas pluviais foi grafitada para se adequar ao ambiente existente.

Figura 3A: Caixa de reúso de águas pluviais



Figura 3B: Caixa e filtro instalados



Um dos motivos da criação da estação-piloto foi servir como objeto de conscientização para funcionários e alunos. Os funcionários da manutenção foram os primeiros a utilizar a água da estação-piloto e, sempre que estavam no Bloco I ou próximos a este, usavam a água daquela fonte. O principal motivo foi que, durante a construção, os participantes do projeto sempre falavam sobre a importância do uso dessa água para as atividades onde a água potável não era necessária.

Os funcionários da conservação interna, externa e da jardinagem foram conscientizados

em graus diferentes. Observou-se que, apesar de eles terem recebido algum tipo de conscientização, aos sábados, quando ocorria a limpeza dos pisos, não usavam a água da estação. E, após uma pesquisa, descobriu-se que, aos sábados, eles trabalhavam em grupos deslocados dos locais habituais, dificultando a aplicação dessa medida.

O jardineiro que atendia ao jardim do Bloco I era sempre o mesmo. Mesmo assim, por mais que fosse orientado pelo grupo, tinha sempre uma alternativa para não usar a água da estação.

Os funcionários da conservação externa quase não trabalhavam no Bloco I. Porém, a primeira vez que foram limpar os azulejos do jardim do Bloco I, foram conscientizados e utilizaram a água coletada da chuva, executaram todo o trabalho com balde e utilizaram a quantidade adequada para o serviço. Pequenos hábitos fazem a diferença.

Coleta de dados

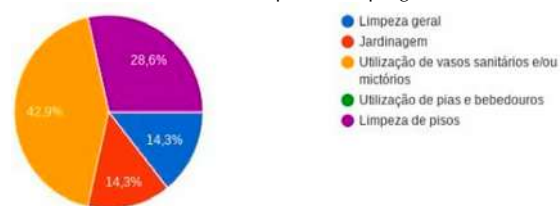
Os resultados começaram a aparecer: o grupo conseguiu reduzir o gasto da água potável e conscientizar algumas pessoas, mas era preciso ter mais funcionários e/ou chefes conscientizados. Para ter certeza se o grupo estava no caminho certo, foi criado um questionário para saber se eram os funcionários e/ou as chefias que precisavam de orientações. Conforme enfatiza Gil (2007, p. 52):

Entre as vantagens dos levantamentos, temos o conhecimento direto da realidade, economia e rapidez, e obtenção de dados agrupados em tabelas que possibilitam uma riqueza na análise estatística. Os estudos descritivos são os que mais se adéquam aos levantamentos. Exemplos são os estudos de opiniões e atitudes.

A verificação foi feita através de um questionário aplicado a quatro funcionários da conservação, um funcionário da jardinagem e dois supervisores, sendo um da empresa de conservação e outro do próprio Cefet/RJ. O questionário apresentava as seguintes perguntas:

1) Quais são as atividades que utilizam mais água no Cefet/RJ?

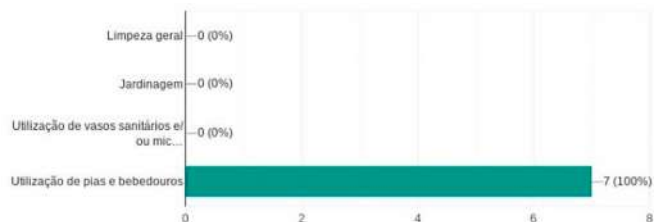
Gráfico 1: Percentual das respostas da pergunta 1



O objetivo dessa questão era saber se os funcionários da limpeza e da jardinagem tinham noção de como a água era utilizada na instituição, além de descobrir se eles conseguiam definir quais atividades e/ou equipamentos gastavam mais esse recurso. As respostas ficaram distribuídas entre limpeza geral, jardinagem, limpeza de pisos e utilização em vasos sanitários e mictórios, sendo este último o mais marcado.

2) Quais das atividades abaixo somente podem ser feitas utilizando água potável?

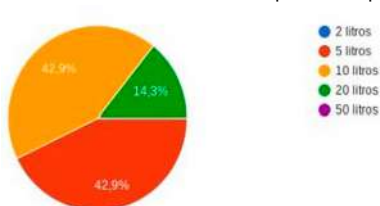
Gráfico 2: Percentual das respostas da pergunta 2



Para saber se os funcionários da limpeza e da jardinagem sabiam ou não quais atividades precisam de água potável, o grupo fez a segunda pergunta. E todos responderam corretamente, mostrando que existe um conhecimento sobre o assunto.

3) Quantos litros de água são gastos por minuto quando lavamos os pisos com uma mangueira?

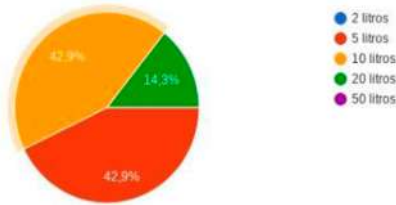
Gráfico 3: Percentual das respostas da pergunta 3



As respostas da questão 3 mostram que a maioria dos trabalhadores não sabe quanto de água é gasta para fazer a atividade que pratica. De acordo com o Departamento de Águas e Esgotos de Caldas Novas (DEMAE, 2019), a resposta correta é de aproximadamente 20 litros por minuto. Observou-se que é necessário fazer uma conscientização com os funcionários, pois só 14,3% responderam adequadamente.

4) Quantos litros de água são gastos por minuto quando regamos as plantas com uma mangueira?

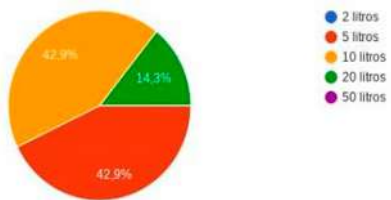
Gráfico 4: Percentual das respostas da pergunta 4



As respostas da questão 4 são idênticas às da pergunta 3, ou seja, mostram que a maioria dos trabalhadores não sabe quanto de água é gasta para fazer a atividade que pratica. Segundo o DEMAÉ (2019), a resposta correta é de aproximadamente 20 litros por minuto. Mas, neste caso, é mais grave, pois o único funcionário que cuida do bosque e dos jardins não respondeu corretamente.

5) Quantos litros de água são gastos por minuto quando deixamos uma torneira aberta?

Gráfico 5: Percentual das respostas da pergunta 5



Segundo o TJPR (2019), a resposta correta é aproximadamente 10 litros. Mais uma vez, foi verificado que a conscientização é um item fundamental para o desenvolvimento dos trabalhos.

6) Quantos litros de água são gastos no acionamento de uma descarga de vaso sanitário com caixa acoplada e sem caixa acoplada?

Gráfico 6: Percentual das respostas para caixa acoplada

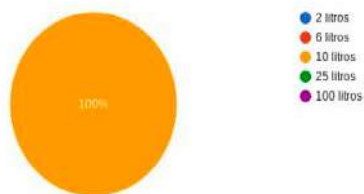
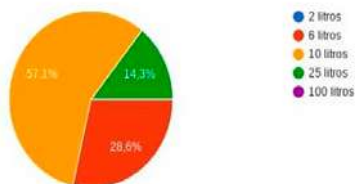


Gráfico 7: Sem caixa acoplada

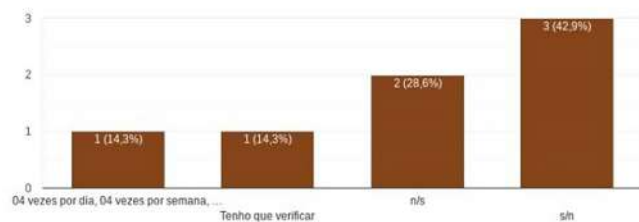


Na questão 6, observou-se se os funcionários detinham o conhecimento da quantidade

de água utilizada por um acionamento de uma descarga de vaso sanitário e se eles sabiam a diferença de economia dos vasos com caixa acoplada e sem caixa acoplada. Pelas respostas, foi possível observar que eles não sabiam das quantidades gastas por tipo de vaso sanitário e nem das diferenças entre eles. Na primeira parte, 100% responderam de forma equivocada, pois o correto seria 6 litros (DEMAE, 2019) e, na segunda parte, somente 14,3% deram a resposta correta, ou seja, 25 litros (TJPR, 2019).

7) Quantas vezes por dia o bosque é regado? E quantas vezes por semana o bosque é regado? Quanto tempo leva para regar o bosque (cada vez)?

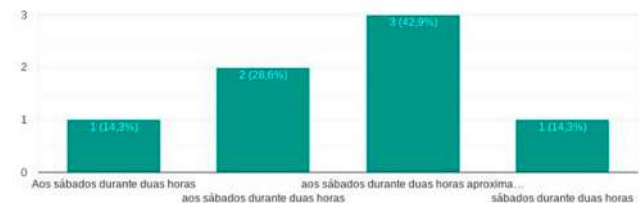
Gráfico 8: Percentual das respostas da pergunta 7



A partir da questão 7, o foco da pesquisa era obter dados para o dimensionamento dos futuros reservatórios de reúso de água do *campus*. Seis das sete pessoas que responderam ao questionário não sabiam responder a essa pergunta. A única resposta correta veio do jardineiro, que informou que regava o bosque quatro vezes ao dia, quatro dias por semana, e gastava aproximadamente uma hora cada vez que executava o serviço. Foi possível observar que só existiam dois funcionários que cuidavam dos jardins.

8) Quantas vezes por mês os pisos são lavados? Quanto tempo demora a lavagem utilizando as mangueiras? Quantas equipes trabalham ao mesmo tempo? Em que local essas atividades são realizadas?

Gráfico 9: Percentual das respostas da pergunta 8



A questão 8 tinha o mesmo objetivo da pergunta 7, só que direcionada aos funcionários da limpeza. As respostas de todos os funcionários foram praticamente iguais: uns colocaram que era aproximadamente, outros que era uma

estimativa e outros afirmaram que as limpezas dos pisos aconteciam aos sábados durante aproximadamente duas horas.

9) Se existisse um meio de fazer essas atividades com água reutilizável, você apoiaria?

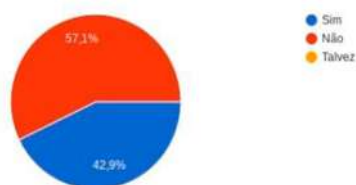
Gráfico 10: Percentual das respostas da pergunta 9



Nessa questão, houve 100% de respostas positivas.

10) Estaria disposto a aprender como utilizar essa água de uma maneira adequada?

Gráfico 11: Percentual das respostas da pergunta 10



Na questão 10, as respostas não foram positivas: 57,1% responderam que não estariam dispostos a aprender como utilizar as águas pluviais. Esse ponto causou preocupação quanto à proposta, pois o treinamento e/ou conscientização seria fundamental para o desenvolvimento do projeto.

11) Você possui alguma sugestão de como reutilizar água?

Ninguém respondeu à questão 11. O grupo conseguiu visualizar mais um motivo para conscientizar os trabalhadores da instituição.

Apesar do número pequeno de funcionários que foram entrevistados (total de sete pessoas), esse questionário ajudou a obter algumas

respostas. Uma delas é que a conscientização dos funcionários que utilizam a água nas suas atividades laborais é essencial. Segundo Miranda (2006), a educação ambiental é fundamental para a preservação dos recursos hídricos e a racionalização do uso da água depende de um conjunto de orientações, métodos e mecanismos. A conscientização provoca um estímulo, em cada pessoa quanto ao cuidado com a água. Além disso, foi constatado que alguns pontos do *campus* merecem outra estação de reúso de águas pluviais, como o bosque e/ou o pátio azul, ou uma caixa para atender aos dois locais. Em uma conta simples, foi constatada uma economia de água potável de aproximadamente 76.800 litros de água por mês, considerando somente o bosque. No pátio azul, o gasto de água potável para a limpeza de pisos pode chegar a 10.000 litros por mês. Já para os vasos sanitários, apesar de o consumo ser grande, eles são muito espalhados pela instituição e o custo com as obras não compensaria.

Utilização da água pluvial

O jardim do Bloco I praticamente não tinha plantas, por esse motivo, o grupo não sabe se o jardineiro que atua naquele bloco utilizaria ou não a água de reúso. Mas isso chamou a atenção para a possibilidade de revitalizar esse jardim e, assim, mostrar mais uma utilização para a água não potável.

Os alunos fizeram primeiro um jardim vertical (Figura 4A), com tubos de PVC de 100 mm, com correntes e depois plantaram algumas mudas; fizeram uma horta (Figura 4B), com várias mudas de agrião, repolho e coentro; plantaram um limoeiro dentro de pneus (Figura 4C), e fizeram um jardim suspenso de dois metros de comprimento e utilizando seis tubos de 100 mm. A rega é feita através de um sistema eletrônico embarcado, que automatiza a irrigação com água de reúso, utilizando, para isso, mangueiras furadas de irrigação e um sensor de umidade – ou seja, quando a terra está seca, esse equipamento aciona a rega das plantas (Figuras 4D, 4E e 4F).

Figura 4A: 1º Jardim vertical



Figura 4B: Horta



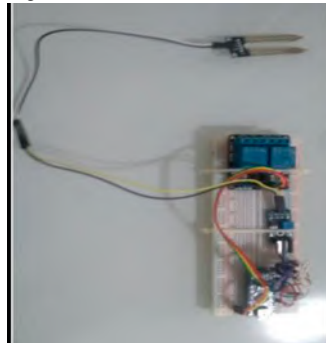
Figura 4C: Limoeiro



Figuras 4D e 4E: Jardim vertical com rega automatizada



Figura 4F: Arduino



Dessa forma, os alunos conseguiram melhorar o ambiente e criaram uma forma de demonstrar vários tipos de utilização para a água de reúso. Além disso, conseguiram chamar a atenção de vários grupos dentro do Cefet/RJ, que passaram a utilizar a caixa como fonte de pesquisa, como a Engenharia Ambiental, a Construção Civil, a Prefeitura do *campus* e até pessoas de fora da instituição, como da Fiocruz.

CONCLUSÃO

O projeto está atendendo aos objetivos propostos: conseguiu planejar, instalar e utilizar

a primeira caixa de reúso do *campus* Maracanã do Cefet/RJ e, através desta, consegue fazer pesquisa para economizar água potável. Suas diversas utilizações e as transformações produzidas por ela geram um ambiente promissor e uma fonte de pesquisa para diversos grupos.

O questionário e a pouca utilização por parte dos funcionários da limpeza demonstram que os treinamentos e/ou a conscientização são fundamentais para que as atividades laborais dentro do Cefet/RJ sejam realizadas utilizando água potável somente para as coisas imprescindíveis, utilizando água não potável para as demais situações.

REFERÊNCIAS

- CAVINATTO, V. M. *Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar*. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003.
- CEFET/RJ. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. *Plano de gestão de logística sustentável*. Resolução nº 56, de 23 de novembro de 2018. Rio de Janeiro, 2018.
- DEMAE. *Consumo de Água*. Disponível em: <https://www.demae.go.gov.br/projetos/consumo-de-agua/>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 2005.
- MIRANDA, A. C.; GOMES, H. P.; SILVA, M. O. *Recursos hídricos: a gestão das águas, a preservação da vida*. São Paulo: All Print Editora, 2006.
- SILVEIRA, D. T.; GERHARDT, T. E. *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- TJPR. *Gestão Ambiental. Água*. Disponível em: <https://www.tjpr.jus.br/web/gestao-ambiental/eco-dica-agua>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- TRIGO, A. G. M.; MARINHO, C. C.; NUNES, D. G.; TRIGO, J. A.; FERNANDES, P. S. R. *Fundamentos e instrumentos práticos das ciências ambientais*. Rio de Janeiro: Gramma, 2018.

Dados dos autores

Myrna da Cunha (myrna.cunha@cefet-rj.br). Mestre em ensino de ciências do ambiente e da saúde, docente, Cefet/RJ.

Alexandre Martinez dos Santos (alexandre.santos@cefet-rj.br). Mestre em ensino de ciências do ambiente e da saúde, docente, Cefet/RJ.

João Terêncio Dias (joao.dias@cefet-rj.br). Doutor em engenharia elétrica, docente, Cefet/RJ.

Cecília de Lauro Antunes (ceciliaantunes28@gmail.com). Estudante do curso técnico de segurança do trabalho, Cefet/RJ.

Alexsandro Rodrigues Martins (sandrorodrigues9500@gmail.com). Estudante do curso técnico de segurança do trabalho Cefet/RJ.

EFICIÊNCIA ECOLÓGICA DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS

Medardo Anibal Zambrano Arcentales

María Elena Lienqueo Contreras

Ronney Arismel Mancebo Boloy

Víctor Abel Corro Herrera

RESUMO: Para reduzir o impacto ambiental, busca-se substituir o uso de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, como o bioetanol. No entanto, para que tal substituição tenha o efeito desejado, é necessário que o processo de produção do bioetanol gere menos gases de efeito estufa (GEE) do que os gerados pelo uso de combustíveis fósseis. Uma forma de expressar esse impacto ambiental é calculando a eficiência ecológica. Neste trabalho, foi realizada uma análise da eficiência ecológica de diversos processos de produção de bioetanol, levando em consideração a eficiência energética do processo e os GEE por eles emitidos. Verificou-se que existem processos aparentemente ecológicos, porém, que possuem impacto ambiental semelhante ao uso do petróleo. São discutidas as vantagens de se analisar a eficiência ecológica desses processos e propostas soluções que reduzem os GEE e aumentam a eficiência energética.

Palavras-chave: GEE. Eficiência ecológica. Eficiência energética. Bioetanol.

ABSTRACT: To reduce the environmental impact, it seeks to replace the use of fossil fuels with renewable fuels such as bioethanol. However, for such replacement to have the desired effect, the bioethanol production process must generate fewer greenhouse gases (GHG) than those generated using fossil fuels. One way to express said environmental impact is by calculating ecological efficiency. In this work, an analysis of the ecological efficiency of several bioethanol production processes was carried out, considering the energy efficiency of the process and the GHG they emit. It was found that apparently ecological processes exist, however, they have a similar environmental impact as the use of oil. The advantages of analyzing the ecological efficiency of these processes are discussed and solutions are proposed that reduce GHG and increase energy efficiency.

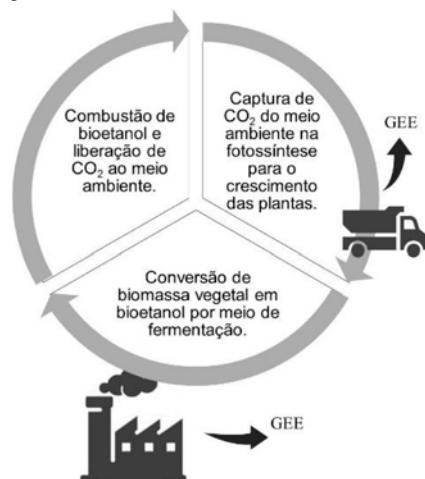
Keywords: GHG. Ecological efficiency. Energy efficiency. Bioethanol.

INTRODUÇÃO

A industrialização e o crescimento populacional aumentaram as necessidades de energia, que são atendidas, principalmente, com combustíveis fósseis e apenas 4% com fontes renováveis de energia (BP, 2019). Essa se tornou uma das principais preocupações hoje, pois o uso de combustíveis fósseis gera gases de efeito estufa (GEE). De acordo com o consenso científico, esses GEE estão causando mudanças climáticas aceleradas, causando o aquecimento global (IPCC, 2013). Isso motivou a maioria dos países do mundo a firmar acordos internacionais para reduzir essas emissões (UNFCCC, 2008).

Embora o uso do bioetanol pertença a um ciclo fechado de CO_2 , sua produção industrial envolve etapas que utilizam combustíveis fósseis, os quais geram emissões de GEE.

Figura 1: Ciclo de emissão dos GEE



Uma das estratégias para mitigar esses GEE é aumentar o uso de energias renováveis, como o bioetanol. Esse combustível é obtido de plantações ricas em açúcares, resíduos agroindustriais e algas marinhas. Tem a vantagem de poder ser utilizado na mistura de gasolina, reduzindo as emissões de GEE dos veículos automotores (MORALES *et al.*, 2015; OFFEI *et al.*, 2018). Como as plantas crescem incorporando dióxido de carbono do meio ambiente na fotossíntese e depois liberando-o quando se decompõem, considera-se que o uso de bioetanol ocorre dentro de um ciclo fechado de dióxido de carbono (PRAKASH; HENHAM; BHAT, 1998). No entanto, etapas como a colheita, coleta e transporte da matéria-prima e a purificação do bioetanol utilizam máquinas e equipamentos que operam com motores movidos a combustíveis fósseis (Fig. 1). Portanto, embora a captação e a liberação de CO_2 tenham

saldo zero, na produção industrial de bioetanol, uma quantidade de GEE é gerada.

Como o objetivo dos biocombustíveis é reduzir os GEE, a produção de bioetanol deve gerar menos GEE do que a exploração de combustíveis fósseis para ser considerada uma alternativa ecológica. Essas emissões são geralmente expressas como a massa de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) para cada unidade de biocombustível obtida. CO_2e é a soma do CO_2 emitido mais outros gases com potencial de aquecimento global, convertidos em seu equivalente de CO_2 . Por exemplo, se um gás tem um potencial de aquecimento 50 vezes maior que o CO_2 , 1 kg desse gás seria relatado como 50 kg de CO_2e (HUANG *et al.*, 2013) and the resulting forcing continues to increase. Aerosols partially offset the forcing of the WMGHGs and dominate the uncertainty associated with the total anthropogenic driving of climate change. As in previous IPCC assessments, AR5 uses the radiative forcing (RF). Outro parâmetro que é levado em consideração na produção de bioetanol é a eficiência energética, definida como a quantidade de energia renovável obtida em relação à quantidade de energia de origem fóssil consumida. Para que um processo seja energeticamente viável, a eficiência energética deve ser maior que 1. (MORALES *et al.*, 2015).

Um conceito que relaciona as emissões de GEE com a eficiência energética no mesmo termo é a eficiência ecológica. Este parâmetro possui valores entre 0 e 1 e representa o quão poluente é um processo de geração de energia em um determinado contexto. (CÂRDU; BAICA, 1999). Um $\epsilon = 1$ indica o processo ideal mais ecologicamente correto, enquanto $\epsilon = 0$ indica o processo mais poluente. O contexto do processo corresponde ao objetivo do processo. Por exemplo, a produção de bioetanol busca substituir o uso de gasolina, portanto, um processo de produção de bioetanol que gere tantas emissões de GEE quanto o uso de gasolina corresponderia a um processo de $\epsilon = 0$. Ele tem sido usado para analisar o impacto ambiental de usinas termelétricas (CÂRDU; BAICA, 1999), hidrelétricas (POSCH SIQUEIRA; SILVEIRA, 2011) e produção de hidrogênio (GUILLER *et al.*, 2017). No entanto, esse parâmetro não foi aplicado para analisar processos de produção de bioetanol.

Considerando que o bioetanol está sendo utilizado, atualmente, como substituto parcial dos combustíveis fósseis, é interessante analisar o quão eficiente é sua produção do ponto de vista ecológico.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise ecológica dos processos de produção de bioetanol a partir de diferentes matérias-primas. Primeiramente, foi proposta a equação de eficiência ecológica, indicando o contexto no qual a análise será realizada. Os parâmetros ambientais usados e os tipos de processos de produção de bioetanol selecionados para análise estão listados abaixo. Com essas informações, calculou-se a eficiência ecológica e discutiram-se as diferenças entre um processo e outro e como elas poderiam melhorar do ponto de vista ambiental. Por fim, sugere-se a inclusão de um novo parâmetro que envolva aspectos socioeconômicos.

METODOLOGIA

A eficiência ecológica, ϵ , foi proposta de acordo com Cârdu e Baica (1999) da seguinte forma:

$$\epsilon = [C \cdot \eta \cdot \ln(K - \pi) / (\eta + \pi)]^n \quad (1)$$

onde

η , eficiência energética do processo;

π , indicador de poluição em $\text{kg CO}_2\text{e/MJ}$;

C , K e n , constantes adimensionais a serem determinadas de acordo com cada processo.

As constantes dessa expressão empírica são determinadas da seguinte forma (CÂRDU; BAICA, 1999):

1. estabelece-se o caso mais poluente para o processo cujo π é relatado; defini-se esse processo como $\epsilon = 0$ para obter o valor de K ;
2. estabelece-se um caso ideal cujo $\pi = 0$ para obter o valor de C ;
3. seleciona-se um caso com π e η relatados, e assumindo um valor de ϵ para encontrar o valor de n .

No trabalho de Cârdu e Baica (1999) sobre geração de eletricidade, a equação da eficiência ecológica foi:

$$\epsilon = [0.204 \cdot \eta \cdot \ln(135 - \pi) / (\eta + \pi)]^{0.5} \quad (2)$$

Enquanto no trabalho de Guiller *et al.*, (2017) sobre a produção de hidrogênio, a equação foi:

$$\epsilon = [0.250 \cdot \eta \cdot \ln(51 - \pi) / (\eta + \pi)]^{0.023} \quad (3)$$

Com um π em $\text{kg CO}_2\text{e/kg H}_2$. De acordo com Bollini (2014) e Guiller *et al.* (2017), essa alteração nas unidades de π foi feita com o ob-

jetivo de manter o valor de K em uma escala semelhante ao trabalho de Cârdu e Baica (1999). Usar as unidades de $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{MJ}$ resulta em quantidades tão pequenas que resultam em números negativos ao aplicar o logaritmo natural.

Neste trabalho, o mesmo cuidado foi tomado, usando as unidades apropriadas de π . Além disso, como as eficiências de energia superiores a 1 são esperadas para biocombustíveis (DE VRIES *et al.*, 2010) based on current production practices in major production areas. The set of nine sustainability indicators focused on resource use efficiency, soil quality, net energy production and greenhouse gas emissions, disregarding socio-economic or biodiversity aspects and land use change. Based on these nine production-ecological indicators and attributing equal importance to each indicator, biofuel produced from oil palm (South East Asia, a seguinte modificação foi feita na equação 1:

$$\epsilon = [C \cdot (\eta - 1) \cdot \ln(K - \pi) / (\eta - 1 + \pi)]^n \quad (4)$$

Com essa nova equação, foram estabelecidos os seguintes casos:

1. o uso de óleo para produção de gasolina foi considerado o caso mais poluente com $\pi = 86.4 \text{ g CO}_2\text{e/MJ}$ (DE VRIES *et al.*, 2010; FALANO; JESWANI; AZAPAGIC, 2014; GARCÍA *et al.*, 2011) based on current production practices in major production areas. The set of nine sustainability indicators focused on resource use efficiency, soil quality, net energy production and greenhouse gas emissions, disregarding socio-economic or biodiversity aspects and land use change. Based on these nine production-ecological indicators and attributing equal importance to each indicator, biofuel produced from oil palm (South East Asia);
2. o caso ideal foi apresentado como um processo com $\pi = 0$ (por exemplo, um processo que cobre suas necessidades energéticas com energia solar ou eólica);
3. produção de bioetanol a partir da madeira com $\pi = 40 \text{ g CO}_2\text{e/MJ}$ e $\eta = 2.24$ (WOODS; BAUEN, 2003); estabelece-se que este processo possui um $\epsilon = 0,50$, pois seu π está em uma posição intermediária no intervalo de 0 – 86.

Com isso, a equação 4 assumiu a seguinte forma:

$$\epsilon = [0.224 \cdot (\eta - 1) \cdot \ln(87.4 - \pi) / (\eta - 1 + \pi)]^{0.19} \quad (5)$$

Observa-se que a equação é delimitada de tal forma que não é possível calcular os proces-

soos que geram mais GEE do que o uso de óleo como combustível, bem como processos com η menor que 1.

O indicador de poluição foi calculado da seguinte forma:

$$\pi = \text{CO}_2\text{e} / Q_i \quad (6)$$

onde

CO_2e , emissões de dióxido de carbono equivalente em g/kg de bioetanol produzido;

Q_i , energia contida no bioetanol produzido em MJ/kg;

π , indicador de poluição em g CO_2e /MJ da bioenergia produzida.

A eficiência energética é definida de acordo com DE VRIES *et al.* (2010) como:

$$\eta = \text{ERP}/\text{EFC} \quad (7)$$

onde

ERP, energia renovável produzida;

EFC, energia fóssil consumida.

De acordo com Prakash, Henham e Bhat (1998), a combustão dos biocombustíveis não contribui com dióxido de carbono para a atmosfera, pois a matéria-prima que foi utilizada para produzir o biocombustível foi obtida através da captura do dióxido de carbono durante a fotossíntese. As emissões de GEE a serem consideradas são aquelas produzidas nas diferentes etapas de cultivo da matéria-prima, transporte e produção industrial do bioetanol. Essas etapas geralmente usam motores movidos a combustíveis fósseis e cobrem parte das necessidades térmicas com carvão. Consequentemente, foram selecionados os trabalhos que compartilham desse critério.

Além disso, os trabalhos selecionados são aqueles em que as emissões de GEE são reportadas em termos de massa de CO_2e por massa de biocombustível produzida, ou por unidade de energia renovável produzida. Em relação à eficiência energética, os trabalhos citados a expressam na equação 7, ou em unidades equivalentes como energia fóssil consumida por volume, ou massa de bioetanol produzido. Para normalizar os dados, foi utilizada uma densidade de bioetanol de 0,789 kg/L e um poder calorífico inferior de 26,95 MJ/kg (PRAKASH; HENHAM; BHAT, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Usando a equação 5, a eficiência ecológica de vários processos de produção de bioetanol foi calculada. Na Fig. 2, a eficiência ecológica é representada em função da eficiência energética para os indicadores de poluição dos processos descritos na Tabela 1. Teoricamente, todos os casos representados começam, na origem, com eficiência ecológica zero, o que significa um processo onde a energia fóssil está sendo consumida, mas não está sendo gerada energia renovável suficiente para justificar o processo.

Os termos “otimista” e “conservador” dos processos da Tabela 1 correspondem ao trabalho de Huang (2007), em que os parâmetros ambientais são estimados assumindo estágios de pré-tratamento e sacarificação favoráveis e desfavoráveis, respectivamente. Isso resulta em um ϵ maior no caso otimista, porque corresponde a um processo que requer menos combustível fóssil, portanto, emite menos GEE. Por outro lado, “baixo e alto” no trabalho de Woods e Bauen (2003) refere-se à eficiência energética. No entanto, esse aumento na referida eficiência leva a um aumento notável da poluição. Conforme detalhado no documento, esse aumento da poluição ocorre quando se aumenta a produção de matéria-prima, gerando mais emissões na etapa de cultivo, transporte e conversão. Esse caso é um exemplo de que aumentar a eficiência energética de um processo não corresponde, necessariamente, a um processo ecológico, uma vez que ϵ diminui devido ao excesso de poluição.

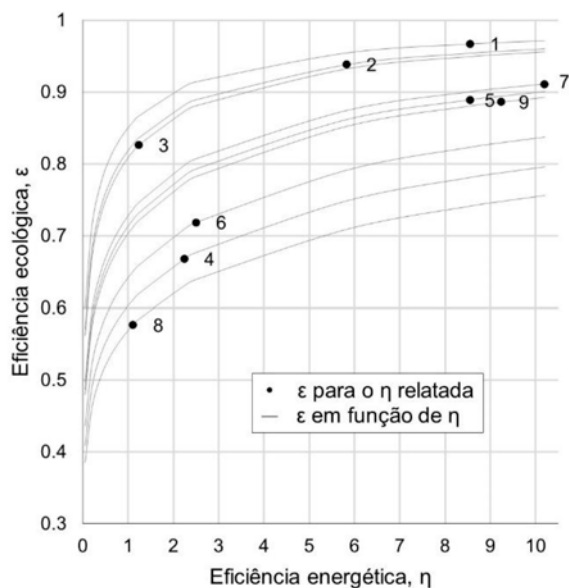
Tabela 1: Indicadores ambientais de diferentes matérias-primas para produzir bioetanol

Nro.	Matéria-prima	π	η	ϵ
1	Populos híbrido (otimista)	2.42	8.55	0.95
2	Populos híbrido (conservador)	3.55	5.82	0.90
3	Lascas de SRC ^a (baixo)	4.00	1.23	0.57
4	Lascas de SRC (alto)	40.0	2.24	0.50
5	Beterraba	26.2	2.50	0.57
6	Cana de açúcar	10.0	10.2	0.87
7	Yucca	56.3	1.11	0.29
8	Lascas de SRC	11.8	8.51	0.83
9	Palha de trigo	13.2	9.25	0.83

^a Talhadias de curta rotação.

Fontes: HUANG (2007); WOODS; BAUEN (2003); FROMENTIN *et al.* (2011); COELHO *et al.* (2006); PAPONG; MALAKUL (2010); MU *et al.* (2010)

Figura 2: Eficiência ecológica (ϵ) na produção de bioetanol para as matérias-primas da Tabela 1, em função da eficiência energética (η)



Observa-se que o indicador de poluição, π , é o indicador ambiental que faz a maior diferença. Observe os valores de ϵ das matérias-primas 1 e 8, que têm η semelhantes, mas π diferentes (Fig. 2). A relevância do indicador de poluição é observada nos processos com menores índices de poluição (1, 2, 6, 8 e 9), que apresentam melhor eficiência ecológica em relação àqueles com índices de poluição intermediários (4 e 5) ou altos (7). Isso porque o objetivo dos biocombustíveis é reduzir o impacto ambiental causado pelas emissões de GEE geradas por combustíveis fósseis. Portanto, se um processo que produz bioetanol está emitindo GEE próximos aos emitidos pelo uso do petróleo ($\pi = 86,4$), será um processo de baixa eficiência ecológica, e só pode ser descartado pela determinação desse parâmetro.

Porém, sem minimizar π , observa-se também que uma eficiência energética (η) suficientemente grande ($\eta > 5$) poderia melhorar o ϵ do processo. Se os processos 6, 8 e 9 tivessem um η semelhante ao processo 3, o ϵ desses seria visivelmente menor. Isso se explica se for levado em consideração que um alto η corresponde a um processo que consome pouca energia de origem fóssil e produz uma grande quantidade de energia renovável. Também interessante é o caso 3, que tem pouca poluição, mas seu η é apenas maior que 1, resultando em um processo com um ϵ baixo em comparação com processos de baixa poluição.

Um termo interessante que é mencionado na análise de ecoeficiência é a eficiência

energética crítica (η_c) representada na Fig. 2 com linhas tracejadas. De acordo com Cârdu e Baica (1999), η_c é a eficiência energética de um processo quando $\epsilon = 0,5$ e é aconselhável não diminuir essa eficiência. Observa-se, na Fig. 2, que o caso 7, para melhorar sua eficiência ecológica, deve atingir um η de pelo menos 4. Uma das recomendações levantadas no trabalho do caso 7 é que o uso de biogás poderia reduzir quase pela metade a poluição (PAPONG; MALAKUL, 2010). Porém, se o caso 5 for observado com uma poluição próxima ao meio do caso 7, reduzir a poluição pela metade não seria suficiente para escapar da zona η_c . Mais correções precisarão ser implementadas para aumentar η .

Tabela 2: Comparação da eficiência ecológica (ϵ) em diferentes processos

Processo	π [g CO ₂ e /M]	ϵ	Limite máximo π^a [g CO ₂ e /M]
Produção de energia elétrica a partir do gás natural	154	0.92	134000
Produção de energia em uma usina hidrelétrica.	7.22	0.99	134000
Produção de hidrogênio a partir do biogás.	84.3	0.94	417
Produção de bioetanol de beterraba.	26.2	0.57	86

^a Significa a poluição máxima gerada pelo processo de acordo com os autores.

Fontes: CÂRDU; BAICA (1999); POSCH SIQUEIRA; SILVEIRA (2011); BOLLINI (2014); GUILLER *et al.* (2017); FROMENTIN *et al.* (2011)

Deve-se notar que a análise de eficiência ecológica é subjetiva ao tipo de processo em análise e não é necessariamente comparável a outros processos. Isso é mostrado na Tabela 2, na qual quatro processos de diferentes contextos são compilados com seus respectivos indicadores ambientais relatados na literatura e levados às mesmas unidades de π . A principal diferença está na seleção do caso mais poluente no momento de encontrar as constantes da equação 1 para o processo a ser analisado. Nas usinas de produção de energia elétrica, é possível utilizar qualquer tipo de material combustível como fonte de energia. Nos processos da Tabela 2, o enxofre foi selecionado como o pior combustível usado em uma usina de geração de eletricidade, portanto, usar a energia potencial de uma barragem gera pouco GEE e um ϵ é obtido praticamente igual a 1. Por outro lado, em Bollini (2014), a lignita (carvão com alto teor de carbono) foi selecionada como o pior combustível na produção de hidrogênio e obtém um ϵ maior que a produção de bioetanol a partir da beterraba, apesar de esta emitir menos poluição. Isso porque o caso mais poluente na produção de

bioetanol é menor que o caso mais poluente selecionado para a produção de hidrogênio.

Apesar do exposto, observa-se que a eficiência ecológica utilizada neste trabalho é uma ferramenta útil para comparar os processos de geração de energia dentro de um contexto específico, como etanol de açúcar, amido e biomassa lignocelulósica. Em busca de alternativas ao uso do óleo, é possível comparar biocombustíveis como o biodiesel, biogás, bio-hidrogênio e bioetanol dentro do mesmo contexto para escolher a alternativa mais ecologicamente conveniente.

É claro que os processos de produção de biocombustíveis podem melhorar seu ϵ aumentando η ou diminuindo π . Levando esse fato em consideração, esse tipo de processo pode ser melhorado se parte das necessidades energéticas for suprida com energias renováveis. A queima de resíduos de colheita de forma controlada ou a utilização desses resíduos para a produção de biogás (GUNASEELAN, 1997) reduziria parte do uso de combustíveis fósseis, uma vez que ambas as alternativas estão dentro de um ciclo fechado de CO_2 . Implemente-se também um sistema de captação de energia solar como o usado em algumas indústrias de alimentos processados. A implementação de um sistema coletor solar pode cobrir parte das necessidades térmicas. A tecnologia consiste basicamente em um conjunto de painéis que refletem os raios solares em direção a um tubo por onde flui um líquido que irá transmitir o calor a um tanque termicamente isolado, do qual poderá ser obtido o calor requerido pelo processo (BENZ *et al.*, 2000; SHARMA *et al.*, 2009). Fases como pré-tratamento ou sacarificação requerem um aporte de energia constante para manter as temperaturas entre 30°C e 100°C, respectivamente, que podem ser cobertas por esses sistemas de captação de energia solar.

Por fim, observam-se a Tabela 1 e a Fig. 2: os casos 8 e 9 apresentam ϵ alto, mas menor que os casos 1, 2 e 6. Porém, vale esclarecer que os casos 8 e 9 correspondem à produção de etanol a partir de resíduo agrícola conhecido como bioetanol de segunda geração. Já os casos 1, 2 e 6 correspondem ao bioetanol de primeira geração. Isso poderia fornecer uma análise relativamente enganosa, porque o bioetanol de primeira geração usa trechos de terra que poderiam ser usados para a produção de alimentos (FAO, 2019).

Consideramos que uma forma de incluir o impacto ecológico-social dos biocombustíveis é comparar a área ocupada por sua produção

com a área envolvida na exploração de petróleo. Outra alternativa que exigiria mais detalhes seria estimar o tempo de regeneração que os solos requerem para ser férteis após a exploração para a produção de biocombustíveis em comparação com os solos deteriorados pela exploração do petróleo. Também é interessante propor uma expressão que facilite a comparação entre as diferentes gerações de produção de biocombustíveis. Embora muitas vezes se questione sobre as vantagens de produzir bioetanol a partir de resíduos agrícolas e algas marinhas (OFFEI *et al.*, 2018), seria interessante fazer uma comparação quantitativa.

CONCLUSÕES

Os processos de produção de bioetanol a partir de diferentes matérias-primas foram analisados sob o conceito de eficiência ecológica. Conclui-se que, para que a produção de bioetanol seja ecologicamente eficiente, é fundamental que o processo gere menos GEE do que o uso de óleo por unidade de energia produzida. O processo será mais eficiente conforme diminui a geração de GEE e aumenta a eficiência energética. A expressão de eficiência ecológica foi modificada para analisar os processos de produção de bioetanol que buscam substituir o uso do petróleo. No entanto, nas condições em que foi proposto, também pode ser utilizado em processos de produção de biocombustíveis como o biodiesel, bio-hidrogênio, biogás e qualquer outro biocombustível que tenha como objetivo substituir o uso do óleo como combustível. As análises apresentadas neste trabalho podem facilitar a identificação de processos aparentemente ecológicos, mas que estão gerando uma quantidade de GEE semelhante ao uso de óleo. Isso pode ajudar na tomada de decisões e ações corretivas nos processos de produção de biocombustíveis.

AGRADECIMIENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Centro de Biotecnología y Bioingeniería (CeBiB) FB0001 Conicyt, Chile; o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), do Rio de Janeiro, Brasil; e a Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) do Ecuador.

REFERÊNCIAS

- BENZ, Nikolaus; HENNECKE, Klaus; ZENTRUM, Deutsches; DLR, V.; HÖHE, Linder; GERMANY, Köln. The Potential of Solar Heat in Industrial Processes. *A State of the Art Review for Spain and Portugal*. Conf. Eurosun, Copenhagen, 2000.
- BOLLINI, Lúcia. *Aspectos técnicos, econômicos e ecológicos de processos de produção de hidrogênio*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.
- BP. *BP Statistical Review of World Energy Statistical Review of World*. n. 68th edition, 2019.
- CÂRDU, Mircea; BAICA, Malvina. Regarding a new variant methodology to estimate globally the ecologic impact of thermopower plants. *Energy Conversion and Management*, v. 40, n. 14, p. 1.569–1.575, 1999. DOI: 10.1016/S0196-8904(99)00041-2.
- COELHO, Suani Teixeira; GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo; GUARDABASSI, Patricia. Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned[1]. *Energy for Sustainable Development*, v. 10, n. 2, p. 26–39, 2006. DOI: 10.1016/S0973-0826(08)60529-3. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60529-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60529-3).
- DE VRIES, Sander C.; VAN DE VEN, Gerrie W. J.; VAN ITTERSUM, Martin K.; GILLER, Ken E. Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 5, p. 588–601, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.001>.
- FALANO, Temitope; JESWANI, Harish K.; AZAPAGIC, Adisa. Assessing the environmental sustainability of ethanol from integrated biorefineries. *Biotechnology Journal*, v. 9, n. 6, p. 753–765, 2014. DOI: 10.1002/biot.201300246.
- FAO. *The State of Food and Agriculture: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction*. 2019.
- FROMENTIN, A.; BIOLLAY, F.; DAURIAT, A.; LUCAS-PORTA, H.; MARCHAND, J. D.; SARLOS, G. *Caracterisation de filieres de production de bioethanol dans le contexte helvetique*, 2011. Disponível em: <http://bpe.epfl.ch/webdav/site/lasen/shared/import/migration/140.102 - Projet OFEN.pdf>.
- GARCÍA, Carlos A.; FUENTES, Alfredo; HENNECKE, Anna; RIEGELHAUPT, Enrique; MANZINI, Fabio; MASERA, Omar. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. *Applied Energy*, v. 88, n. 6, p. 2.088–2.097, 2011. DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.12.072.
- GUILLER, Jonni; MADEIRA, Ferreira; ARISMEL, Ronney; BOLOY, Mancebo; RAMON, Angel; DELGADO, Sanchez; CASTRO, Ricardo De; FILHO, Pereira. Ecological analysis of hydrogen production via biogas steam reforming from cassava flour processing wastewater. *Journal of Cleaner Production*. v. 162, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.076.
- GUNASEELAN, Nallathambi. Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. *Biomass and Bioenergy*, v. 13, n. 97, 1997.
- HUANG, Jessica J. *Life Cycle Analysis of Hybrid Poplar Trees for Cellulosic Ethanol*. Thesis (S.B. in Mechanical Engineering) – Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- HUANG, Jianping; MENDOZA, Blanca; DANIEL, John S.; NIELSEN, Claus J.; ROTSTAYN, Leon; WILD, Oliver. Anthropogenic and natural radiative forcing. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, v. 9781107057, p. 659–740, 2013. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.018.
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- MORALES, Marjorie; QUINTERO, Julián; CONEJEROS, Raúl; AROCA, Germán. Life cycle assessment of lignocellulosic bioethanol: Environmental impacts and energy balance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, p. 1.349–1.361, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.097. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.097>.
- MU, Dongyan; SEAGER, Thomas; RAO, P. Suresh; ZHAO, Fu. Comparative life cycle assessment of lignocellulosic ethanol production: Biochemical versus thermochemical conversion. *Environmental Management*, v. 46, n. 4, p. 565–578, 2010. DOI: 10.1007/s00267-010-9494-2.
- OFFEI, Felix; MENSAH, Moses; THYGESSEN, Anders; KEMAUSUOR, Francis. Seaweed bioethanol production: A process selection review on hydrolysis and fermentation. *Fermentation*, v. 4, n. 4, p. 1–18, 2018. DOI: 10.3390/fermentation4040099.
- PAPONG, Seksan; MALAKUL, Pomthong. Life-cycle energy and environmental analysis of bioethanol production from cassava in Thailand. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 1 SUPPL., p. S112–S118, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.09.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.006>.
- POSCH SIQUEIRA, Barbosa Ricardo; SILVEIRA, José Luz. Eficiência ecológica aplicada a uma PCH em função da operação de um reservatório hipotético. *SHP News*, v. 50, p. 24–28, 2011.
- PRAKASH, Ravi; HENHAM, Alex; BHAT, Inder Krishnan. Net energy and gross pollution from bioethanol production in India. *Fuel*, v. 77, n. 14, p. 1.629–1.633, 1998. DOI: 10.1016/S0016-2361(98)00085-4.
- SHARMA, Atul; TYAGI, V. V.; CHEN, C. R.; BUDDHI, D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 2, p. 318–345, 2009. DOI: 10.1016/j.rser.2007.10.005.
- UNFCCC. *Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount*. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008.
- WOODS, J.; BAUEN, A. *Technology status review and carbon abatement potential of renewable transport fuels in the UK*. Imperial College London, 2003.

Dados dos autores

Medardo Anibal Zambrano Arcentales (anibalarcentales@gmail.com). Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Estudiante de doctorado de la Universidad de Chile.

María Elena Lienqueo Contreras (mlienque@ing.uchile.cl). Doctora en Ciencias de la Ingeniería. Profesora de la Universidad de Chile.

Ronney Arismel Mancebo Boloy (ronney.boloy@gmail.com). Doctor en Ingeniería Mecánica. Profesor de Cefet/RJ campus Maracanã (RJ).

Víctor Abel Corro Herrera (corroherrera@gmail.com). Doctor en Ingeniería de Alimentos. Investigador de la Universidad de Chile.

REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS, PRIMEIRA GERAÇÃO (1G) E SEGUNDA GERAÇÃO (2G)

Eyko Medeiros Rios

Vanessa Aparecida de Sá Machado

Wallice Medeiros de Souza

Ronney Arismel Mancebo Boly

RESUMO: O presente artigo objetiva avaliar a sustentabilidade sob a óptica econômica e ambiental dos biocombustíveis denominados de primeira geração e os biocombustíveis denominados de segunda geração através de uma revisão bibliométrica, organizada por meio de literaturas existentes e desenvolvida de forma qualitativa. A pesquisa contou com o auxílio dos *softwares* Microsoft Excel, OpenRefine e VOSviewer. A análise do histórico de publicações os últimos 10 anos mostra um crescimento de publicações nos anos 2015, 2017 e 2018 e uma queda numérica de pesquisas nos anos 2016 e 2019. Quanto aos países, Estados Unidos, Brasil e China possuem os maiores números de artigos publicados na área de biocombustíveis. A partir das conexões de co-ocorrência de palavras-chave do autor, é possível observar a predominância de palavras-chave voltadas para biocombustíveis de segunda geração, como: bioetanol, bio-óleo, bagaço de cana, algas, resíduos de colheitas, biorrefinarias, mostrando uma redução na pesquisa por combustíveis de primeira geração. A partir da análise de países de coautoria, observa-se que Estados Unidos, Brasil e China possuem o maior número de publicações e parcerias em pesquisas na área de biocombustíveis. Por se tratar de campo com notória relevância, a principal conclusão se debruça na necessidade de mais estudos abrangentes em pontos como emissão de poluentes, impactos na saúde social, viabilidade econômica e política. Como sugestão para futuros trabalhos acerca do tema, indica-se a realização de revisão sistemática da literatura acompanhada de aprofundada análise bibliométrica, buscando aprofundar o entendimento, conhecimento e implicações acerca da produção de biocombustíveis provenientes de primeira e segunda geração.

Palavras-chave: Bibliometria. Biocombustíveis. Primeira geração (1g). Segunda geração (2g).

ABSTRACT: This article aims to assess sustainability from the economic and environmental perspective of biofuels called first generation and biofuels called second generation through a bibliometric review, organized through existing literature and developed in a qualitative way. The research was supported by Microsoft Excel, OpenRefine and VOSviewer software. The analysis of the history of publications over the past 10 years, shows an increase in publications in the years 2015, 2017 and 2018 and a numerical fall in research in the years 2016 and 2019. As for the countries, the United States, Brazil and China have the largest numbers of articles published in the field of biofuels. From the author's keyword co-occurrence connections, it is possible to observe the predominance of keywords aimed at second generation biofuels, such as: bioethanol, bio-oil, sugarcane bagasse, algae, crop residues, biorefineries showing a reduction in research for first generation fuels. From the analysis of co-authored countries, it is observed that the United States, Brazil and China have the largest number of publications and research partnerships in the area of biofuels. As it is a field with notorious relevance, the main conclusion focuses on the need for more comprehensive studies on points such as emission of pollutants, impacts on social health, economic and political viability. As a suggestion for future work on the theme, it indicates the performance of a systematic review of the literature accompanied by a thorough bibliometric analysis, seeking to deepen the understanding, knowledge and implications about the production of biofuels from the first and second generation.

Keywords: Bibliometry. Biofuels. First generation (1g). Second generation (2g).

INTRODUÇÃO

O Brasil, apesar de ser considerado um país emergente, possui condições ideais para se tornar líder em produção de energias renováveis. Isso porque possui uma matriz energética diversificada e essencialmente mais pautada em recursos renováveis, em comparação com a grande maioria dos países considerados mais desenvolvidos e industrializados (AZEVEDO; LIMA, 2016).

Embora o consumo de energia de fontes não renováveis seja maior do que as renováveis, os brasileiros usam mais fontes renováveis que no resto do mundo, totalizando 42,9%, quase metade da matriz energética do país (BENGTSSON; FRIDELL; ANDERSSON, 2012). Muitas das atividades humanas atuais utilizam energia e a maior parte provém da queima de combustíveis fósseis, geradores de dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o vapor de água (H_2O) e responsáveis pelo aumento da temperatura e desequilíbrio climático do planeta.

A solução passa pela substituição dos combustíveis fósseis por fontes energéticas renováveis e tecnologias que possam minimizar essas emissões na atmosfera. Biocombustíveis são normalmente categorizados como de primeira geração e de segunda geração. Os biocombustíveis de primeira geração são produzidos, inicialmente, através da agricultura, tais como sementes e grãos, enquanto a matéria-prima dos biocombustíveis de segunda geração é colhida através de materiais derivados de origem lignocelulósica ou culturas lenhosas, resíduos agrícolas ou material residual vegetal (BENGTSSON; FRIDELL; ANDERSSON, 2012).

Preocupações transitam entre essas duas categorias. Os biocombustíveis de primeira geração, por serem derivados da agricultura, poderiam acarretar competição para ocupação de terra e produção de alimentos e de potencial de produção limitada, o que faz, assim, com que sua *performance* seja questionada. No concernente à segunda geração de biocombustíveis, há preocupações mais atenuantes, contudo, irão enfrentar desafios tanto econômicos quanto técnicos (BENGTSSON; FRIDELL; ANDERSSON, 2012).

Dois biocombustíveis promissores são o biodiesel e o biogás. Ambos podem se misturar com combustíveis fósseis, tais como diesel e gás natural respectivamente (LION *et al.*, 2017).

O presente artigo objetiva apresentar uma visão geral dos principais desafios de sustentabilidade, política de gerenciamento, limitações e políticas de transição entre a primeira e segunda gera-

ção de biocombustíveis. Abordando a importância no setor de transporte, o conflito com uso de terras agrícolas e os desafios para a política energética.

Os biocombustíveis apresentam uma maior viabilidade e menor emissão de poluentes, em contrapartida podem gerar grandes impactos ambientais, como o aumento da degradação do solo, uso abundante de água e destruição da mata. Entretanto, o retorno positivo dos biocombustíveis para o setor de transporte vem crescendo de forma gradativa em relação à última década. No Brasil, 21% do abastecimento foi realizado pela produção de biocombustíveis (HO; NGO; GUO, 2014).

Segundo Omena, Souza e Soares (2013), a preocupação pela questão ambiental não seria motivo para negar a importância dos biocombustíveis, o mercado internacional tem poder para atuar na distribuição de território e de energia. Com isso, retorna-se ao objetivo do artigo, que relaciona os desafios de sustentabilidade com as políticas de gerenciamento e de transição para a primeira e a segunda geração de biocombustíveis.

REFERENCIAL TEÓRICO

Biocombustíveis

Os biocombustíveis para transporte representam a maior fração da produção de bioenergia mundial. São provenientes de transformações de matéria orgânica através de processos biológicos ou derivados de conversão química precedida de bio-organismos vivos. Podem ser obtidos em forma de gás, líquido ou sólido (HO; HAO; GUO, 2014).

Dentre eles, destacam-se o biogás e o biodiesel. O biogás pode ser usado para várias finalidades, inclusive produção de calor, vapor e eletricidade, ou como equivalente ao gás natural. Atualmente, a Alemanha é a líder de produção de biogás através de fermentação de matérias-primas decorrentes do cultivo de agricultura e resíduos (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019a).

O biodiesel pode ser utilizado misturado ao diesel ou totalmente puro para ser aplicado em motores a diesel. Surge também como uma alternativa de baixo carbono. Possui várias vantagens em comparação ao diesel comumente utilizado, dentre as quais pode-se mencionar impacto ambiental relativamente baixo, além de ser biodegradável e com propriedades de combustão semelhantes ao do diesel (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL 2019a).

Eles são uma excelente alternativa para reduzir a dependência em combustíveis fósseis. Biocombustíveis podem ser classificados em duas categorias: primeira geração e segunda geração (BABAZADEH, 2017)

Biocombustíveis de primeira geração

Atualmente, a maioria das matérias-primas utilizadas para a produção do biodiesel são decorrentes de óleos vegetais e gordura animal (BABAZADEH, 2017)

O rápido crescimento da indústria de biocombustíveis implicou largo impacto de terras agrícolas, no equilíbrio de matérias-primas entre mercado de alimentos, suprimento de comida e desenvolvimento da agricultura em áreas rurais. Na Malásia, por exemplo, devido ao grande uso do óleo de palmeira, houve um aumento de, aproximadamente, 70% em seu preço final (BABAZADEH, 2017)

No Brasil, o biodiesel é predominantemente produzido através da matéria-prima da soja (74,52%), seguida por gordura bovina (15,63%), óleo de algodão (7,72%), outros materiais graxos (0,97%), gordura de frango (0,52%), óleo de fritura (0,52%), gordura de porco (0,33%) e óleo de dendê (0,25%) (BIODISELBR, 2012). Entretanto, nos últimos anos, críticas severas e preocupações pontuais surgiram sobre a decorrência dessas produções, principalmente no que tange ao uso de terras devido ao incentivo de energia (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019b).

Biocombustíveis de segunda geração

Na tentativa de encontrar uma solução sustentável e viável para problemas como crise alimentar, segurança energética, meio ambiente e redução da pobreza, profissionais comprometidos com essa causa introduziram a produção de biocombustíveis denominados de segunda geração, sendo eles provenientes de matérias-primas não comestíveis, ou seja, uma promessa promissora que projeta redes de cadeia de suprimentos de biocombustíveis de uma maneira integrada com impactos reduzidos (BABAZADEH, 2017)

Os subprodutos da indústria de alimentos englobam resíduos de vários tipos, como bagaço de cana, bagaço de maçã e uvas, grãos gastos de cervejaria e cascas de citros e batata. Nota-se que todos os insumos citados, que podem ser utilizados na produção de biocombustíveis de segunda geração, são aqueles que já cumpriram com sua finalidade alimentícia, sendo inclusive uma solução pertinente para a eliminação do desperdício (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019a).

Logo, destacam-se, entre estudos desenvolvidos acerca das matérias-primas da segunda geração de biocombustíveis, as algas, jatropha, óleo usado de cozinha e lignocelulose.

Embora oleaginosas e algas tenham características similares, as algas possuem diversas vantagens em comparação às oleaginosas no concernente à produção de biocombustíveis. Ao que tudo indica, o biodiesel, o bioetanol, o biometanol e a biomassa de organismos são os principais combustíveis que podem ser produzidos através de várias espécies de algas (RODIONOVA *et al.*, 2017).

As algas responsáveis pela produção de biocombustíveis precisam somente de luz do sol, CO₂ e água. Ela gera múltiplos produtos energéticos renováveis e produz volumes maiores de biodiesel do que em relação aos algodões e às oleaginosas como insumos (RODIONOVA *et al.*, 2017).

Dentre as matérias-primas, destaca-se a espécie jatropha. De origem africana, não é comestível e não compete com terras férteis de cultura alimentar. Essa oleaginosa possui o maior teor de óleo entre as culturas energéticas comestíveis e não comestíveis, além de baixa acidez, boa capacidade de oxidação, neutra em carbono, baixa viscosidade e melhores propriedades de resfriamento. Foi relatada a utilização bem-sucedida em grandes escalas na Malásia, na Indonésia e na Índia (BABAZADEH, 2017)

Outro insumo não comestível para produção de biocombustível são os óleos de cozinha usados e descartados. Uma vez utilizados para produção de biodiesel, eles proveem boa matéria-prima, de baixo custo e trazem a solução para o descarte. Cerca de 25% dos óleos são desperdiçados de forma incorreta, contaminando o meio ambiente (BABAZADEH, 2017)

A coleta aprimorada de óleo de cozinha usado reduz o preço de sementes oleaginosas e de seus derivados, os preços de biocombustíveis e contribui para a preservação do meio ambiente (BOUTESTEIJN; DRABIK; VENUS, 2017).

As opções de matérias-primas decorrentes de lignocelulose variam de culturas não alimentares a resíduos agroflorestais. As culturas gramíneas, como madeira e herbáceas, têm inúmeras vantagens sobre as culturas alimentícias como matéria-prima energética. Elas não possuem necessidade de plantio anual, todas as partes da planta podem ser utilizadas, necessidade baixa de água, produtividade razoável e podem ser a solução do futuro da sustentabilidade (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019a).

Resíduos florestais primários, tais como os agrícolas e florestais, são gerados em decorrência das atividades de cultivo de culturas e árvores com um baixo valor econômico para produtores primários. Apesar de ambos serem de natureza lignocelulósica, os resíduos agrícolas contêm nível de lignina mais baixo em relação aos florestais (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019a).

Sustentabilidade entre as gerações

Biocombustíveis de primeira geração apresentam, ainda, impactos maiores que combustíveis fósseis, que, por sua vez, dependem de processos otimizados e consolidados e competem com a cadeia alimentícia e solos de plantio. Com isso, é traçado um bom perfil de sustentabilidade para a segunda geração e biocombustíveis decorrentes desta, especialmente para o biogás (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019b).

O biogás pontua como o que produz menor impacto em comparação ao diesel do qual apresenta altos encargos ambientais. A definição de índices de sustentabilidade se torna fundamental para comparar produtos de origem tradicional ou inovadores, orientar melhorias e reduzir impactos ambientais, que podem ocorrer com o surgimento de novos processos (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019b).

Economia e políticas energéticas

Progresso substancial foi feito nos recentes anos. No entanto, o desenvolvimento da comercialização de biocombustíveis mais avançados tem sido mais lento do que o projetado anteriormente. O principal obstáculo para sua implantação são os altos requisitos de investimento, juntamente com várias incertezas operacionais e políticas (HO; NGO; GUO, 2014).

O potencial econômico a ser despertado dependerá do poder de produção. Em particular, os biocombustíveis deverão possuir valor mais competitivo em relação aos combustíveis fósseis para atingir sua ascensão. Os custos de produção devem levar em consideração custos de matéria-prima, custos de capital, custos operacionais e de manutenção (CARRIQUIRY; DU; TIMILSINA, 2011)

A grande maioria das políticas energéticas de países ao redor do mundo incentiva o fornecimento e a utilização dos biocombustíveis provenientes de primeira e segunda geração em igual proporção, independente dos custos de produção ou benefícios que podem ser fornecidos. Contudo, exceções podem ser encontradas. A lei de independência e segurança de energia dos Estados Unidos (EISA) de 2007

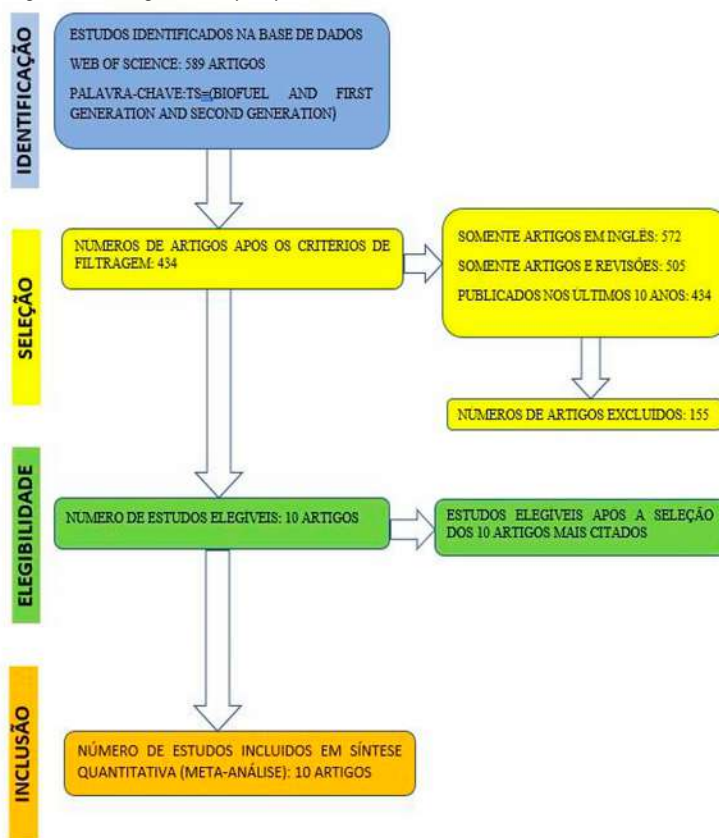
especifica um volume obrigatório para biocombustíveis de segunda geração. A União Europeia também oferece benefícios adicionais para a utilização dos biocombustíveis de segunda geração, porém em menor grau, exigindo que 10% da energia renovável utilizada em transporte sejam provenientes da segunda geração (CARRIQUIRY; DU; TIMILSINA, 2011)

Intervenções políticas podem ajudar a acelerar a transição da primeira geração de combustíveis para a segunda geração, através de incentivos de investimentos públicos e estímulo de produção de matéria-prima, técnicas de conversão e rendimento. Também é crucial as políticas serem adaptadas de forma a apoiar o desenvolvimento de biocombustíveis mais vantajosos e desestimular a produção de biocombustíveis de características ínfimas, podendo ser feito através de instrumentos como créditos fiscais e isenções no intuito de diferenciar os caminhos de produção com metas pré-estabelecidas (CARRIQUIRY; DU; TIMILSINA, 2011)

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo, foi realizada uma análise e uma seleção de acordo com o fluxograma abaixo:

Figura 1: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Os autores

Foi realizada uma busca na base de dados Web of Science com seguintes palavras-chave: "BIOFUEL AND FIRST GENERATION AND SECOND GENERATION". Foram encontrados 589 artigos referentes aos anos de 1945-2020. Foi aplicado um filtro de artigos somente em inglês, encontrando 572 artigos. Logo após, foram selecionados apenas artigos e revisões, chegando a 505 artigos. Para refinar a busca, foram selecionados os artigos mais citados dos anos de 2010 a 2020, chegando-se a 434 artigos.

Desses 434 artigos, foram analisados os 10 artigos mais citados com a exportação do registro completo e referências citadas para aplicação no Microsoft Excel para desenvolvimento de gráficos e tabelas para futuras análises.

Para promover análise dos dados, a ferramenta VOSviewer foi utilizada. O programa tem por finalidade construir e visualizar mapas de dados e seus *links* conectivos, oferecendo abordagem meticulosa e possibilitando que a análise seja feita de forma mais apurada, contendo o maior número possível de itens, trazendo, assim, o diferencial de sua utilização (JAN; LUDO, 2010).

Os indicadores bibliométricos escolhidos para conduzir este estudo foram "coautoria de países", do qual enfatiza a relação de número de coautores encontrados em documentos salientando seus respectivos países, e "co-ocorrência das palavras chave do autor", sendo este responsável pela investigação da relação de número de documentos que ocorrem conjuntamente com respectivas palavras-chave.

A análise de países de coautoria possibilita a construção do conjunto de países conectados e a formação de suas respectivas redes de colaboração, demonstrando, assim, cada ligação entre ao menos dois nódulos diferentes, verificando a existência de coautoria entre eles (VAN ECK; WALTMAN, 2014).

As palavras-chave podem ser extraídas do título, resumo ou palavras-chave fornecidas no artigo pelos próprios autores. O número de co-ocorrências é o equivalente ao número de publicações em que duas ou mais podem ocorrer conjuntamente. Palavras-chave podem estar tanto em sua forma singular quanto no plural (VAN ECK; WALTMAN, 2014).

RESULTADOS

Este artigo analisou a sustentabilidade dos biocombustíveis de primeira geração e de se-

gunda geração, sob o viés de revisão ordenada utilizando, como base, artigos que apresentaram diferentes perspectivas acerca do tema. A importância do caso em estudo se deu devido a dois fatores: a demanda global de energia, que continua a aumentar, e a relação positiva dos biocombustíveis com a bioenergia. Segundo Omena, Souza e Soares (2013), os biocombustíveis aumentaram rapidamente na última década, abastecendo 3,4% das necessidades globais de combustível para o transporte rodoviário, sendo 21% de participação para o Brasil, 4% nos EUA e 3% na União Europeia.

A figura 2 mostra a distribuição temporal dos artigos nos últimos 5 anos, sendo que o ano de 2018 obteve o maior índice de publicações – um total de 63 artigos publicados sobre o assunto biocombustível de primeira e segunda gerações. De acordo com EPE (2018), o Brasil produziu, em 2018, 32,3 bilhões de litros de etanol, com um aumento de 17% em relação a 2017. De acordo com a British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy, em 2018, a produção de biocombustíveis no mundo foi de cerca de 95.371.000 de toneladas, o que representa um aumento de 9,72% em relação ao ano de 2017. Essa elevada produção pode ter incentivado o aumento de pesquisas em torno do tema biocombustíveis.

Figura 2: Anos de publicação (Web of Science)



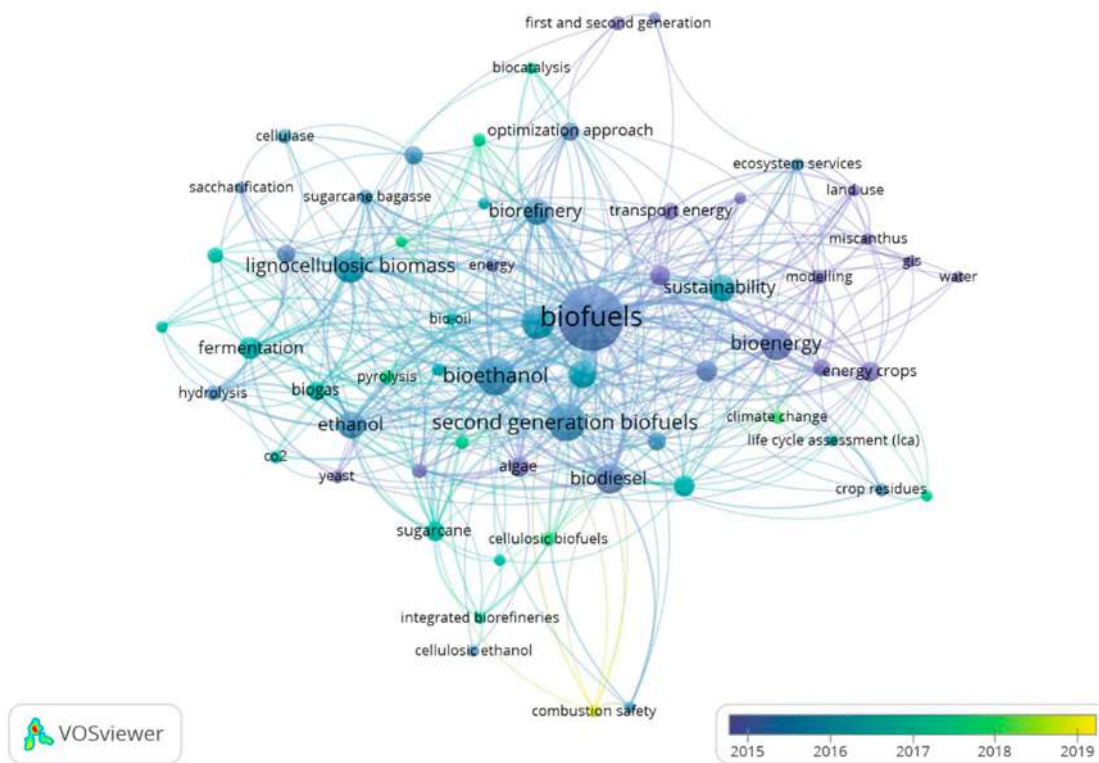
De acordo com a Figura 3, dentre os vinte e cinco países, os com maiores índices de publicações são: em primeiro lugar, os Estados Unidos, com um total de 58, seguido do Brasil, com 36 artigos, e, em terceiro lugar, China, com 33 artigos. Segundo BiodieselBR (2019), os Estados Unidos e o Brasil são os maiores produtores de etanol e biodiesel, representando 84% da produção mundial de etanol e 26% de biodiesel em 2017. A China busca transformar resíduos agrícolas em biocombustível para carros, sob uma política nacional para expandir o uso de etanol na gasolina. Todos esses fatores explicam esses três países possuírem os maiores números de artigos na área de biocombustíveis.

Figura 3: Publicações por países (Web of Science)



A Figura 4 mostra um mapeamento bibliométrico sobre co-ocorrência de palavras-chave do autor que estabelecem *clusters* que podem indicar relações de conexões. Com base na proporção de documentos que ocorrem juntos, foram obtidas 1.003 palavras-chave com o mínimo de cinco ocorrências, sendo que apenas 64 atenderam.

Figura 4: Análise de co-ocorrência de palavras-chave do autor (VOSviewer)



No *cluster 1*, “Biofuels” possui 130 ocorrências e 228 *links*, o que evidencia o elevado número de pesquisas voltadas para biocombustíveis. O Brasil possui grande potencial para produção de biocombustíveis, devido às altas produções de cana-de-açúcar, além de cultivar mamona, amendoim, gergelim, babaçu, entre outras oleaginosas. Existe uma área de mais de 3 milhões de hectares aptas para cultivo apenas com a mamona (PERES; FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2005).

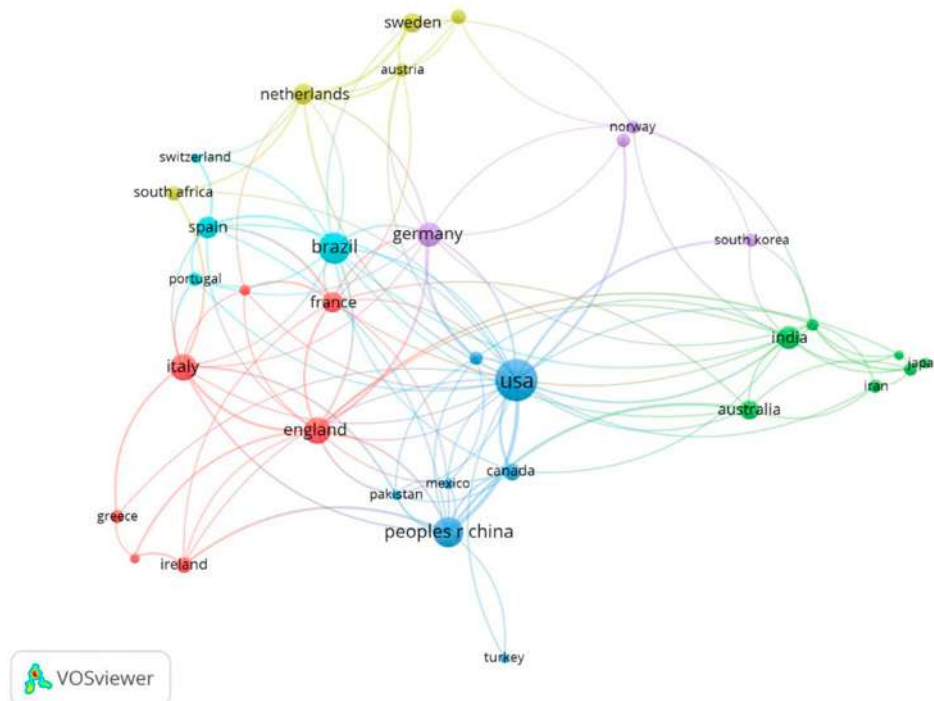
No *cluster 2*, “Bioethanol” possui 45 ocorrências e 37 *links*. O bioetanol pode ser obtido de cana-de-açúcar, beterraba, fontes lignocelulósicas e o substituto da gasolina. Devido às políticas energéticas de vários países, e a versatilidade de sua obtenção, de fontes de primeira geração ou de segunda geração, o bioetanol tem sido muito pesquisado para utilização em veículos leves e pesados (AZEVEDO; LIMA, 2016).

No *cluster 3*, “Second generation biofuels”, observam-se 45 ocorrências e 36 *links*. Os biocombustíveis obtidos por primeira geração têm gerado impactos negativos e resistência na sociedade devido à competição com os alimentos. Evidenciando o aumento de pesquisas em biocombustíveis de segunda geração a partir de fontes lignocelulósicas, a implantação de biorrefinarias, o uso do bagaço de

cana, resíduos de colheita, bio-óleo, como é mostrado na Figura 4 (NAIK *et al.*, 2010)

A Figura 5 mostra um mapeamento bibliométrico sobre países de coautoria os quais estabelecem *clusters* que podem indicar relações de conexões. Com base no mínimo de cinco documentos por país, de 74 países, 34 atenderam às exigências.

Figura 5: Análise de países de coautoria (VOSviewer)



No *cluster 1*, os Estados Unidos possuem 78 documentos com 24 *links*. No *cluster 6*, Brasil, com 45 documentos e 16 *links*. No *cluster 3*, China, com 42 documentos e 12 *links*. Dessa forma, foi desenvolvida uma análise da literatura, utilizando indicadores bibliométricos, para averiguar nuances da primeira e da segunda geração de biocombustíveis e seus respectivos objetivos, aplicações de matéria-prima, contribuição e viabilidade.

Em oposição aos biocombustíveis de primeira geração relacionados ao conflito de segurança alimentar, os biocombustíveis de segunda geração são amplamente vistos como uma resposta sustentável (MOHR; RAMAN, 2013).

Para acelerar a transição em relação à larga escala e economia, sistematizar e buscar compreender os aspectos dos biocombustíveis é crucial. Muitos dos problemas associados à primeira geração de biocombustíveis podem ser resolvidos com a produção e o uso dos biocombustíveis de segunda geração (EL AKKARI *et al.*, 2018).

A primeira geração de biocombustíveis foi baseada na utilização de culturas alimentares comestíveis, o que incitou o debate sobre alimentos e combustíveis e questões direcionáveis à sustentabilidade. Já a segunda geração é derivada do desperdício biológico e de resíduos alimentícios que já cumpriram com o seu propósito.

A definição de índices de sustentabilidade se torna fundamental para comparar produtos de origem tradicional ou inovadores, orientar melhorias e reduzir impactos ambientais que podem ocorrer com o surgimento de novos processos (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2019b)..

É importante enfatizar que o foco qualitativo deste artigo é mais predominante que o quantitativo para resultados. Sendo assim, foram feitas diversas presunções para agilizar a análise que irá apontar os principais direcionadores dos efeitos. Mais especificamente, os biocombustíveis de segunda geração são superiores aos de primeira geração em vários aspectos, como econômico, político e ambiental.

No entanto, isso pode ainda mudar no futuro, visto que o mercado de biocombustível para segunda geração ainda está engatinhando e as mudanças tecnológicas podem desempenhar um papel importante no concernente a matérias-primas.

CONCLUSÕES

O presente estudo, no intuito de promover uma visão geral acerca do tema abordado, identificou, no total, 434 artigos e revisões publicados na área, sendo eles revisados e suas tendências de estudos ocorrentes classificadas. Dois indicadores bibliométricos foram aplicados, a partir dos quais se investigou a distribuição dos países possuidores de maior número de publicações e rede colaborativa de autores através do emprego de palavras-chave. A análise do histórico de publicações os últimos 5 anos mostra um crescimento de publicações nos anos 2015, 2017 e 2018 e uma queda numérica de pesquisas nos anos 2016 e 2019. Quanto aos países, Estados Unidos, Brasil e China possuem os maiores números de artigos publicados na área de biocombustíveis.

A partir das conexões de co-ocorrência de palavras-chave do autor, é possível observar a predominância de palavras-chave voltadas para biocombustíveis de segunda geração, como: bioetanol, bio-óleo, bagaço de cana, algas, resíduos de colheitas e biorrefinarias, mostrando uma redução na pesquisa por combustíveis de primeira geração. A partir da análise de países de coautoria, observa-se que Estados Unidos,

Brasil e China possuem o maior número de publicações e parcerias em pesquisas na área de biocombustíveis. Apesar das contribuições ao assunto, este artigo apresentou uma visão geral dos principais desafios de sustentabilidade, política de gerenciamento, limitações e políticas de transição entre a primeira e segunda geração de biocombustíveis.

Como sugestão para futuros trabalhos acerca do tema, indica-se a realização de revisão sistemática da literatura acompanhada de aprofundada análise bibliométrica, buscando aprofundar o entendimento, conhecimento e implicações acerca da produção de biocombustíveis provenientes de primeira e segunda gerações. Por se tratar de campo com notória relevância, a principal conclusão se debruça na necessidade de mais estudos abrangentes em pontos como emissão de poluentes, impactos na saúde social, viabilidade econômica e política. Nos últimos anos, a maioria das publicações tem como concentração países da União Europeia e Estados Unidos e escassos resultados focados na realidade brasileira e seus aspectos. Por essa revisão possuir uma visão limitada, desenvolvida apenas através de publicações acadêmicas, contribuições relevantes podem ter sido excluídas. Dessa forma, pode-se tornar necessário um futuro desenvolvimento dessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Adriana; LIMA, Bruna. Biocombustíveis: desenvolvimento e inserção internacional. *Web of Science*, 2016, p. 77-100.
- BABAZADEH, Reza. Optimal Design and Planning of Biodiesel Supply Chain Considering Non-Edible Feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, p. 1.089-1.100, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.088>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- BENGTSSON, Selma; FRIDELL, Erik; ANDERSSON, Karin. Environmental Assessment of Two Pathways towards the Use of Biofuels in Shipping. *Energy Policy*, 44, p. 451-463, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.030>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- BOUTESTEIJN, Coen; DRABIK, Dušan; VENUS, Thomas J. The Interaction between EU Biofuel Policy and First- and Second-Generation Biodiesel Production. *Industrial Crops and Products*, 106, p. 124-129, 2017.
- BRITISH PETROLEUM (BP), 2020. Disponível em: <https://www.bp.com>.
- BIODIESEL BR. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/mundo/biodiesel-estados-unidos>.
- CARRIQUIRY, Miguel A.; DU, Xiaodong; TIMILSINA, Govinda R. Second Generation Biofuels: Economics and Policies. *Energy Policy*, 39(7), p. 4.222-4.234, 2011.
- EL AKKARI, M. *et al.* A Meta-Analysis of the Greenhouse Gas Abatement of Bioenergy Factoring in Land Use Changes. *Scientific Reports* 8(1), p. 1-7, 2018.
- EPE. *Análise de conjuntura dos biocombustíveis*. 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-bertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-402/An%C3%A1lise_de_Conjuntura_Ano%202018.pdf.
- HASSAN, Shady S.; WILLIAMS, Gwilym A.; JAISWAL, Amit K. Moving towards the Second Generation of Lignocellulosic Biorefineries in the EU: Drivers, Challenges, and Opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 101 (June 2018), p. 590-599, 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.041>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- HASSAN, Shady S.; WILLIAMS, Gwilym A.; JAISWAL, Amit K. Moving towards the Second Generation of Lignocellulosic Biorefineries in the EU: Drivers, Challenges, and Opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 101: 590-599, 2019b.
- HO, Dang P.; NGO, Huu Hao; GUO, Wenshan. A Mini Review on Renewable Sources for Biofuel. *Bioresource Technology* 169 (July), p. 742-49, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.022>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- HO, Dang P.; HAO, Huu; GUO, Wenshan. Bioresource Technology A Mini Review on Renewable Sources for Biofuel. *Bioresource Technology* 169, p. 742-49, 2014.
- JAN, N.; LUDO, V. E. Software survey : VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics and Informetrics*, v. 84, p. 523-538, 2010.
- LION, Simone *et al.* A Review of Waste Heat Recovery and Organic Rankine Cycles (ORC) in on-off Highway Vehicle Heavy Duty Diesel Engine Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79 (Aug. 2016), p. 691-708, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.082>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- MOHR, Alison; RAMAN, Sujatha. Lessons from First Generation Biofuels and Implications for the Sustainability Appraisal of Second Generation Biofuels. *Energy Policy* 63, p. 114-122, 2013.
- NAIK, S. N.; GOUD, Vaibhav V.; ROUT, Prasant K.; DALAI, Ajay K. Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(2), p. 578-597, 2010.
- OMENA, L. A.; SOUZA, R. R.; SOARES, M. J. N. O papel dos biocombustíveis na nova configuração geopolítica. *Revista Geopolítica*, v. 4, n. 1, p. 79-97, jan./jun. 2013.
- PERES, José Roberto Rodrigues; FREITAS JUNIOR, Elias de; GAZZONI, Décio Luis. Biocombustíveis Uma Oportunidade Para o Agronegócio Brasileiro. *Revista de Política Agrícola* 14(1), p. 31-41, 2005. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/528>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- RODIONOVA, M. V. *et al.* Biofuel Production: Challenges and Opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy* 42(12), p. 8.450-8.461, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.125>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. *Visualizing Bibliometric Networks*, 2014.
- VERMA, S. *et al.* A comparative exergetic performance and emission analysis of pilot diesel dual-fuel engine with biogas, CNG and hydrogen as main fuels. *Energy Conversion and Management*, v. 151, p. 764-777, Sept. 2017.

Dados dos autores

Eyko Medeiros Rios (eyko.rios@aluno.cefet-rj.br). Mestranda do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) - Cefet/RJ.

Vanessa Aparecida de Sá Machado (vanessa.machado@aluno.cefet-rj.br). Mestranda do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) – Cefet/RJ.

Wallice Medeiros de Souza (wallice.souza@aluno.cefet-rj.br). Mestrando do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO) - Cefet/RJ.

Ronney A. Mancebo Boloy (ronney.boloy@cefet-rj.br). Doutorado – Professor - Cefet/RJ.

