

TECNOLOGIA & CULTURA

Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
CEFET/RJ | N. 33 | Ano 22 | jan./jun. 2019

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.33, Ano 22 - jan./jun. 2019
Tiragem: 300 exemplares
Edição eletrônica disponível em: <http://revistas.cefet-rj.br/>
Av. Maracanã, 229 - Rio de Janeiro/RJ
CEP 20.271-110
Telefone geral: (21) 2566-3022 r. 3160
Telefax: (21) 2284-6021
<http://www.cefet-rj.br>
E-mail: revista@cefet-rj.br

Diretor-geral

Carlos Henrique Figueiredo Alves

Vice-diretor

Mauricio Saldanha Motta

Diretora de Ensino

Gisele Maria Ribeiro Vieira

Diretor de Pesquisa e Pós-graduação

Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco

Diretora de Gestão Estratégica

Célia Machado Guimarães e Souza

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 (UFU)

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/RJ)

Editoria

Marcelo Borges Rocha

Revisão de textos em língua portuguesa

Natasha Juliana Mascarenhas Pereira

Biblioteca Central

Teresa Cristina Gaio Mattos

Projeto Gráfico/Diagramação

Divisão de Programação Visual (DPROV)

Fernando da Silveira Bracet

Isabela Menezes da Silva Devonish

Thaís Cabral Pires Alves

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 33, Ano 22 (jan./jun. 2019) -
Rio de Janeiro : Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2019.
v. : il.; 28 cms.

Semestral
ISSN 1414-8498

I. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso
Suckow da Fonseca

REDES SOCIAIS COMO ELEMENTO PARA A PROMOÇÃO DA SAÚDE DE ADOLESCENTES: CONTRIBUIÇÕES DA ENFERMAGEM	6
Larissa Scheeren Thomas Rosane Teresinha Fontana	
AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE BAKING ÁCIDO UTILIZANDO ENERGIA DE MICRO-ONDAS PARA REDUÇÃO DO TEOR DO ELEMENTO FÓSFORO CONTIDO NO MINÉRIO DE FERRO	14
Leonardo Martins da Silva Marisa Nascimento Elizabeth Mendes Anderson Vergílio Márcio Teodoro Fernandes José Adilson de Castro	
ANÁLISE DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO EM RESERVATÓRIOS E POTENCIAIS SOLUÇÕES	24
Aline Cordeiro Pinheiro Thiago Thielmann de Araújo	
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS QUE GARANTEM A EFICÁCIA DA COMPOSTAGEM DE BOVINOS	36
Jéssica Motta Carvalho Juliana Muhammad Ferreira Mabelle Biancardi Oliveira de Medeiros Marcelo Henrique Otênio Vanessa Romário de Paula	
ANÁLISE DE ENERGIA DE SOLDAGEM <i>VERSUS</i> CORROSÃO NO AISI 316L	42
Natasha da Fonseca Glauco Soares da Fonseca Elivelton Alves Ferreira	
POSICIONAMENTO DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS	50
Felix do Rego Barros William Vairo dos Santos Alexandre Silva de Lima	
ALGORITMO DE RASTREAMENTO ROBUSTO PARA SISTEMAS NÃO LINEARES	54
Luiz Carlos Pedroza Bruno Campos Pedroza	
ANÁLISE ENERGÉTICA DE GERAÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE BIOGÁS	62
Marcella Lopes da Conceição Alexandre Aristoteles de Queiroz Fernanda Abreu de Moraes Figueiredo Ronney Arismel Mancebo Boloy	
FACTIBILIDAD PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LOS ARREGUÍN DE ABAJO	70
Alondra Argüello Jacobo Catalina González Nava	
CASE STUDY THE RECOVERY OF WASTE IN THE EUROACE AREA	77
Roberta Mota Panizio Paulo Sérgio Duque de Brito Luís Filipe do Carmo Calado Ricardo Correia	
OPTIMIZATION OF SLUDGE HAULING BASED ON CLARKE & WRIGHT'S SAVINGS ALGORITHM	85
Jeysa Passos Gonçalo Lourinho Octávio Alves Paulo Brito	
OLHAR DO PROFESSOR SOBRE A VIOLÊNCIA SEXUAL: CONTRIBUIÇÕES PARA PROFISSIONAIS DE SAÚDE	94
Rosane Teresinha Fontana Marina Manzoni Boff Carine Amabile Guimarães Zaléia Prado de Brum	

Prezados membros da comunidade acadêmica, servidores e pesquisadores do Cefet/RJ e de universidades e escolas do Brasil: é com satisfação que lhes apresentamos mais um número de nossa revista *Tecnologia & Cultura*, dando seguimento a uma trajetória iniciada há 15 anos.

Importante ressaltar que o esforço empreendido nesta gestão, apoiando os grupos de pesquisa e a pós-graduação do Cefet/RJ, produz seus frutos, gerando pesquisa de qualidade e, consequentemente, mais suporte para nossos cursos *lato* e *stricto sensu*, realimentando um círculo virtuoso, com mais produção acadêmica.

Nossa revista faz parte desse processo, divulgando trabalhos de nossos pesquisadores e de universidades irmãs, apresentando a relevância de nossa instituição para o ensino e a pesquisa no Brasil.

Confiamos no aprimoramento da qualidade das publicações científicas de nosso periódico, cuja classificação Qualis aspiramos elevar a fim de alcançar o padrão das melhores revistas acadêmicas brasileiras.

Reforçamos o desejo de que todos os membros da comunidade do Cefet/RJ e de instituições parceiras considerem os trabalhos divulgados e submetam suas pesquisas a futuras edições de nossa revista.

Boa leitura a todos.

Atenciosamente,

Prof. Carlos Henrique Figueiredo Alves/D.Sc.
Diretor-Geral do Cefet/RJ

REDES SOCIAIS COMO ELEMENTO PARA A PROMOÇÃO DA SAÚDE DE ADOLESCENTES: CONTRIBUIÇÕES DA ENFERMAGEM

Larissa Scheeren Thomas

Rosane Teresinha Fontana

RESUMO: Objetivo deste trabalho é identificar dúvidas e inquietações do adolescente acerca da saúde e socializar e educar em saúde por meio de oficinas e/ou redes sociais. Trata-se de uma pesquisa exploratória, descritiva e com abordagem qualitativa. Os dados foram coletados mediante a aplicação de um questionário com duas perguntas abertas a estudantes do oitavo e nono anos do ensino fundamental, de quatro escolas municipais de dois municípios do interior do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2018. O tratamento dos dados seguiu a análise de conteúdo na modalidade temática e o estudo respeitou os preceitos éticos da pesquisa em seres humanos. A maioria dos questionamentos envolveram dúvidas sobre câncer, dores, infecções sexualmente transmissíveis, alimentação e exercício físicos, inferindo-se que a saúde ainda é um tema que desperta muita curiosidade, e as redes sociais, se bem conduzidas, podem ser uma ferramenta de socialização e empoderamento do estudante nessa área.

Palavras-chave: Educação em saúde. Enfermagem. Estudantes.

ABSTRACT: This paper aims to identify doubts and concerns of adolescents about health, and to socialize and educate in health through workshops and / or social networks. This is an exploratory, descriptive study with a qualitative approach. Data were collected with a questionnaire with two open questions to eighth and ninth grades students of elementary school, in four municipal schools of two municipalities in the interior of Rio Grande do Sul, in the first semester of 2018. The treatment of the data followed the analysis of content in the thematic modality. The study respected the ethical precepts of research in humans. Most of the questions involved doubts about cancer, pain, sexually transmitted infections, food and exercise. It can be inferred that health is still a subject that arouses great curiosity, and social networks, if well conducted, can be a tool of socialization and empowerment of the student in this area.

Keywords: Health education. Nursing. Students.

INTRODUÇÃO

A educação em saúde se insere no contexto da atuação da enfermagem como um meio para o estabelecimento de uma relação dialógico-reflexiva entre enfermeiro e usuário, de modo que haja sensibilização deste último sobre sua situação de saúde e percepção de que é um sujeito capaz de cuidar de si mesmo e de transformar sua própria vida.

O Ministério da Saúde (BRASIL, 2012a, p. 19) define educação em saúde como um processo de construção de conhecimentos que

visa à apropriação temática pela população [...]. Conjunto de práticas do setor que contribui para aumentar a autonomia das pessoas no seu cuidado e no debate com os profissionais e os gestores a fim de alcançar uma atenção à saúde de acordo com suas necessidades [...]. A educação em saúde potencializa o exercício do controle social sobre as políticas e os serviços de saúde para que esses respondam às necessidades da população. [...].

A educação em saúde como processo político-pedagógico exige que seja desenvolvido o pensamento crítico e reflexivo no indivíduo, “permitindo desvelar a realidade e propor ações transformadoras que levem o indivíduo à sua autonomia e emancipação enquanto sujeito histórico e social capaz de propor e opinar nas decisões de saúde para o cuidar de si, de sua família e da coletividade” (MACHADO, 2007, p. 341). Deverá ser construída tendo como ponto de partida as situações de saúde de um grupo social, constituindo-se como um processo em que a relação entre os envolvidos seja dialógica e horizontal. A educação em saúde deve ser considerada uma prática social, cujo processo contribui para a sensibilização e formação da consciência crítica das pessoas (FONTANA, 2018).

Este estudo se justifica considerando que processos de educação em saúde democráticos podem favorecer o empoderamento do sujeito. Visto que os participantes escolheram o que gostariam de saber sobre saúde, a proposta tem potência para educar de forma dialógica e horizontal, desmitificando a verticalidade do processo, na lógica de que o profissional é quem sabe o que a comunidade precisa saber. Acolher e escutar os adolescentes é uma das estratégias necessárias para a promoção da saúde, pois nessa fase eles passam por mudanças significativas em seu meio social e pessoal. O apoio da família, da escola e de profissionais da saúde, em geral, pode transformar a vivência desse adolescente para que ele busque hábitos saudáveis (COSTA, 2015).

Mesmo com as políticas e programas do Ministério da Saúde relativas à saúde do adolescente, ainda se observa uma desarticulação no cuidado com esse público, muito inferior às suas reais necessidades. Promover a saúde desses jovens é uma tarefa complexa, visto que não se resume a ações centradas na doença. Para a concretização das ações para a saúde ao adolescente é preciso apropriar-se de sua realidade e de suas relações intrapessoais, interpessoais e com o meio em que vive. Nessa conjuntura, a escola representa um local propício para a prática das ações de educação em saúde, considerando que é nesse ambiente que o adolescente fica a maior parte de seu dia, situação que favorece a socialização, os vínculos, as trocas de experiências e a propagação de conhecimentos (FAIAL, 2016).

Nem todos os profissionais da educação estão preparados para o desenvolvimento de educação em saúde e nem sempre a inserem em seus planos de ensino. Quando planejam, muitas vezes a envolvem somente no viés biomédico, focado na doença. A educação em saúde, como processo, é uma demanda real do ambiente escolar e não pode ser desenvolvido por meio dos saberes alicerçados no senso comum e/ou em intenções sanitaristas e reducionistas (GUSTAVO; GALIETA, 2014).

Uma pesquisa desenvolvida junto a professores assinalou que a concepção sobre saúde por parte desses trabalhadores é limitada e que o tema saúde é conduzido, frequentemente, com o escopo de prevenir doenças, focado no patológico, situação que pode ser justificada pela deficiência de cursos de educação formal e não formal sobre o tema, numa perspectiva contemporânea. Nessa pesquisa, apenas 25% dos docentes entrevistados afirmaram ter participado de algum curso de formação continuada sobre o tema da saúde (SILVA-SOBRINHO, 2017).

Diante desse contexto, este estudo emergiu do seguinte questionamento: quais são as dúvidas mais frequentes dos estudantes sobre o tema da saúde? Assim, os objetivos foram: identificar dúvidas e inquietações do adolescente acerca de sua saúde e socializar saberes, por meio de oficinas e/ou redes sociais na perspectiva de suas necessidades.

METODOLOGIA

Este trabalho desenvolve-se sobre uma pesquisa do tipo exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa. A coleta de dados foi feita em quatro escolas municipais de dois mu-

nicípios do interior do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2018. Os participantes da pesquisa foram estudantes do ensino fundamental. Optou-se por esse público por considerar que é nesse período escolar que o tema se encontra alinhado com assuntos voltados aos seres vivos e corpo humano, e, de acordo com os parâmetros curriculares nacionais, atualmente, a saúde é alocada como um tema transversal, indicando que seja tratado em todas as disciplinas do currículo, desconstruindo o paradigma de que a saúde seja centrada nas disciplinas de Ciências e Biologia, mesmo havendo recomendação de abordagem transversal (ASSIS; ARAÚJO-JORGE, 2018).

Para a realização da coleta de dados, foram elaboradas duas perguntas abertas, que depois de respondidas foram colocadas em uma urna. O instrumento continha o seguinte questionamento: "o que você quer saber sobre sua saúde? Faça até três perguntas sobre suas dúvidas ou inquietações sobre saúde". Foram critérios de inclusão no estudo: estar cursando o ensino fundamental das escolas pesquisadas; ter consentimento dos pais para participar; aceitar participar.

A análise dos dados foi feita por meio da análise de conteúdo, na modalidade temática. Foi discutida, junto a eles, a forma como gostariam de receber as respostas – em forma de textos, gravuras, alertas, desenhos, e se por meio de oficinas ou de rede social, sendo esta última a escolhida, optando-se, como rede de referência, pelo Instagram. Criou-se, então, um canal que, em seguida, foi socializado com os estudantes, dando-se continuidade aos seus contatos e postagens.

O estudo respeitou todos os preceitos estabelecidos na Resolução nº 466/12 e foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, *campus* Santo Ângelo, sob parecer número 2.628.666. Foi encaminhado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos pais e/ou responsáveis pelos estudantes e um Termo de Assentimento Livre e Esclarecido foi oferecido aos participantes que tinham anuência dos responsáveis. Ao gestor da escola, foi solicitada a assinatura da Declaração de Instituição Participante, prevista na Resolução nº 466/12 (BRASIL, 2012b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Participaram do estudo 46 adolescentes de um universo de 112 estudantes, sendo que, três não participaram devido a não aceitação

dos pais e outros não quiseram participar ou não estavam presentes no momento da coleta de dados. Os participantes foram estudantes do oitavo e nono anos do ensino fundamental de quatro escolas municipais, situadas em dois municípios da região noroeste do Rio Grande do Sul.

As indagações dos alunos foram organizadas em cinco categorias prevalentes, a saber, respectivamente: doenças, saúde sexual, dores em geral, alimentação e exercícios e temas que emergiram em menor frequência, tais como primeiros socorros, medicamentos, higiene e vacinas.

No tocante ao tema doença, o qual teve maior número de questionamentos, identificaram-se 45 perguntas. Dentre elas, as dúvidas sobre câncer foram mais recorrentes, tais como:

- "Como acontece o câncer de pele?";
- "É verdade que nascemos com câncer?";
- "Como começa o câncer?";
- "Todos os tipos de câncer têm cura?";
- "Como o câncer evolui?".

Em relação a esse tema, uma das questões mais levantadas foi em relação ao câncer de pele. O câncer de pele não melanoma é o câncer mais frequente no Brasil, sendo estimados 170 mil casos novos. Estima-se, para o Brasil, biênio 2018-2019, a ocorrência de 600 mil casos novos de câncer para cada ano. Excetuando-se, então, o câncer de pele não melanoma, ocorrerão 420 mil casos novos de câncer. Essas estimativas refletem o perfil de um país que possui os cânceres de próstata, pulmão, mama feminina e cólon e reto, também, entre os mais incidentes, entretanto ainda apresenta altas taxas para os cânceres do colo do útero, estômago e esôfago, dados que reforçam que informações sobre a ocorrência de câncer e seu desfecho são essenciais para programas nacionais e regionais para o controle do câncer (BRASIL, 2018).

O segundo tema prevalente foi relacionado à saúde sexual, com 24 perguntas. Com referência ao tema, questionamentos sobre Infecções Sexualmente Transmissíveis (ISTs) foram mais frequentes, tais como:

- "O que são ISTs?";
- "O que é sífilis e tem cura?";
- "É possível nascer com aids?";
- "O que é gonorreia?";
- "O que é hepatite B, quais os sintomas, tem cura?".

Ainda inserido nesse tema, verificaram-se perguntas relacionadas à menstruação, a correntes, ao uso de contraceptivos e anticoncepcionais, sendo as mais recorrentes, respectivamente:

- “Por que algumas mulheres ficam três dias menstruadas e algumas sete?”;
- “Por que as meninas hoje em dia menstruam cedo?”;
- “É normal ir ao banheiro e ter um corrimento branco na calcinha?”;
- “Tem algum risco fazer relações sexuais sem camisinha?”;
- “É possível engravidar tomando anticoncepcional?”.

Uma pesquisa feita com adolescentes do sexo feminino identificou que elas sentiam vergonha de falar sobre sexualidade com os pais, que tinham medo de serem julgadas e mal interpretadas, como se apresentassem interesse em dar início à sua vida sexual. Os pais podem sentir dificuldade para se comunicar com os filhos sobre o tema, assim, profissionais de saúde possuem papel importante na educação sexual e orientação à família e também na escola (PICCIN *et al.*, 2017). Um estudo que descreveu a participação dos adolescentes no discurso sobre atividade sexual apontou que a maioria dos participantes agregaram o tema à gravidez e aos métodos contraceptivos que conhecem, sendo que o preservativo masculino e a pílula do dia seguinte foram os assuntos mais falados. Os adolescentes mencionaram que não usavam os métodos contraceptivos corretamente e as dúvidas mais frequentes envolveram as pílulas diárias e as pílulas do dia seguinte (QUEIROZ *et al.*, 2016).

Quanto às ISTs, por mais que os adolescentes tenham um conhecimento prévio sobre essas infecções, por meio das mídias sociais, da escola e da comunidade, ainda há lacunas no conhecimento. As escolas, em parceria com profissionais da saúde, são importantes suportes na construção do comportamento sexual dos indivíduos (PEREIRA; VALE, 2017). Embora muitos adolescentes possuam conhecimentos adequados sobre sexualidade, conceitos equivocados ainda persistem e precisam ser trabalhados. Iniciar precocemente a vida sexual pode ser prejudicial para os adolescentes, que, muitas vezes, não identificam fatores que os expõem às vulnerabilidades das ISTs, aids e gravidez (SANTOS, 2018).

Um estudo de Ramos *et al.* (2014) que analisou a percepção de adolescentes sobre a consulta ginecológica apontou que 65% das adolescentes relataram obter das mães orientações acerca da menarca e tais conhecimentos estavam relacionados com os cuidados com a higiene corporal. Sobre a dismenorreia, 60% das adolescentes relataram sentir cólicas menstruais, mas apenas 17,5% procuraram auxílio profissional. A respeito da sexarca, neste estudo, 67% das adolescentes relataram já ter iniciado atividade sexual, sendo que a idade da primeira relação sexual variou de 12 a 19 anos. Cabe ressaltar que 15% e 5% das estudantes procuraram, respectivamente, a consulta ginecológica para atendimento pré-natal e abortamento, ou seja, depois de engravidarem. Cabe uma reflexão sobre a oferta qualificada de serviços de saúde, e de acordo com as necessidades do público adolescente, configurando-se, no atual panorama, como um dos desafios da gestão pública.

Quanto ao conhecimento a respeito da vacina contra o HPV, uma pesquisa identificou que 25% dos entrevistados conheciam e possuíam o cartão de vacinação, 65% sabiam que HPV é uma doença causada por vírus, e 70% sabiam sobre o modo de transmissão do HPV e suas causas. Apenas 10% não sabiam o que a vacina HPV prevenia, reforçando a importância das práticas educativas por profissionais de saúde em parceria com as escolas, de modo a ampliar o conhecimento dos adolescentes sobre o vírus e a importância da vacinação (CARVALHO *et al.*, 2018).

Quanto à sífilis, muito questionada no estudo em tela, no ano de 2016, foram notificados, no Brasil, 87.593 casos de sífilis adquirida, 37.436 casos de sífilis em gestantes e 20.474 casos de sífilis congênita – entre eles, 185 óbitos. Quando observadas as taxas para cada estado, destacam-se as elevadas taxas de sífilis em gestantes no Espírito Santo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. A OMS estima a ocorrência, mundialmente, de mais de um milhão de casos de Infecções Sexualmente Transmissíveis (ISTs) por dia e, no Brasil, nos últimos cinco anos, foi observado um aumento constante no número de casos de sífilis, porém, esse dado pode ser decorrente do aumento da cobertura de testagem, com a ampliação do uso de testes rápidos, redução do uso de preservativo, resistência dos profissionais de saúde à administração da penicilina na Atenção Básica, desabastecimento mundial de penicilina, entre outros. Além disso, o aprimoramento do sistema de vigilância pode se refletir no aumento de casos notificados (BRASIL, 2017).

O terceiro tema questionado foi em relação às dores em geral, apresentando 19 perguntas. O questionamento mais frequente foi referente à dor de cabeça. As indagações mais citadas foram:

- “Por que eu tenho dores de cabeça diariamente?”;
- “Por que as mulheres sentem cólicas?”;
- “O que causa a cólica na mulher?”;
- “Dor no peito seguidamente quer dizer o quê?”;
- “O que pode ser uma dor intensa nas costas?”;
- “É normal sentir dor após fazer exercícios?”.

A cefaleia é um quadro clínico que acomete muitos adolescentes e pode estar associada à depressão, à ansiedade, à falta de interação na família, na escola e na comunidade, a distúrbios emocionais, ao estresse e à falta de atividades de lazer, podendo ocasionar implicações significativas para a saúde física e mental (SILVA *et al.*, 2015). Uma análise da prevalência e dos fatores associados à cefaleia migrânea em adolescentes de uma rede pública de ensino identificou que 14% dos adolescentes tinham esse tipo de dor, e que, em relação aos comportamentos de risco, foram encontradas prevalências de exposição ao álcool, tabaco e drogas de 21,5%, 5% e 3,1% respectivamente do total da amostra (SILVA; ALVES; SANTOS, 2018).

Ainda sobre as dores dos adolescentes, os dados de uma pesquisa sobre prevalência e determinantes das perturbações musculoesqueléticas em adolescentes demonstraram que 41,6% dos adolescentes não referiram perturbações musculoesqueléticas no último ano da pesquisa. Contudo, em 58,4%, estava presente, especialmente nas pernas/joelhos (47,4%), coluna dorsal (37,2%), coluna lombar (35,8%), coluna cervical (35%) e ombros (34,3%). Observou-se que as perturbações musculoesqueléticas são prevalentes nas meninas, nos adolescentes com altura superior a 1,59 m e pertencentes a classes socioeconômicas mais baixas. Os jovens que usam a mochila sobre um ombro apenas, que assistem televisão ou jogam jogos de vídeo/computador por períodos superiores a 10 horas semanais apresentavam maior adoecimento (MARTINS, 2016).

Como quarto tema a destacar, tem-se a alimentação e exercícios, apresentando um total de 11 questionamentos. Sobre os exercícios, questões sobre a frequência da prática prevaleceram. As perguntas mais comuns foram:

- “Ficar muitos dias sem comer pode prejudicar a saúde?”;
- “Tentar emagrecer aos 13 anos faz bem ou mal?”;
- “Não sentir fome pode ser uma doença?”;
- “Sentir fome toda hora pode ser algo?”;
- “Quais os alimentos que fazem bem? E quais fazem mal?”;
- “Quantas vezes por dia devo fazer exercícios?”.

Os transtornos alimentares podem surgir em consequência da busca por um corpo dito perfeito pela mídia e sociedade e por distúrbios da própria imagem (BOMFIM; PAESE; SILVA, 2017). Com o objetivo de identificar desigualdades na prática de atividade física de lazer e deslocamento ativo para a escola em adolescentes brasileiros, bem como suas tendências de acordo com o sexo, tipo de escola, escolaridade materna e regiões geográficas no período de 2009 a 2015, um estudo identificou que a prevalência de atividade física de lazer entre os meninos é maior que a das meninas; em média, os adolescentes de mães com maior escolaridade apresentaram sempre uma maior prevalência de atividade física de lazer, denotando importantes desigualdades. Os autores recomendam que os gestores conheçam essas realidades e implementem ações de saúde e promoção de atividades físicas que diminuam tais desigualdades, estabelecendo ações intersetoriais que envolvam saúde, educação, planejamento urbano e segurança, e possibilitando o acesso aos benefícios físicos e sociais da atividade física a toda a população (FERREIRA *et al.*, 2018).

Como quinto tópico a discutir, tem-se questionamentos diversificados que foram levantados em menor frequência, somando um total de 11 perguntas, que envolveram temas como primeiros socorros, medicamentos, higiene e vacinas, respectivamente. As perguntas mais recorrentes foram sobre primeiros socorros, sendo elas:

- “Como salvar alguém engasgado?”;
- “O que fazer quando a pessoa tem um ataque cardíaco?”;
- “O que fazer em caso de queimaduras?”;
- “O que devemos fazer quando a pessoa entra em coma alcoólico?”.

A prática de educação em saúde em primeiros socorros, por enfermeiros capacitados,

tem importância relevante na transmissão de conhecimentos, para que se auxilie na construção e formação de cidadãos capacitados a realizar suporte básico de vida qualificado e para que a preservação da vida e a diminuição das sequelas após os acidentes possam, de fato, ser prioridades. O enfermeiro pode ser um articulador entre a comunidade e a escola, visto que ele é um dos responsáveis pela educação em saúde da unidade e, além de socializar conhecimentos, pode auxiliar no planejamento e implementação das estratégias do programa de saúde nas escolas (CHAVES *et al.*, 2017).

Para disponibilizar as respostas de tais questionamentos, foi elaborada uma página no Instagram intitulada “Educando_Saude”, disponível no endereço eletrônico: https://www.instagram.com/educando_saude/. As redes sociais destacam-se entre os jovens, sendo os sites os mais utilizados, devido à facilidade de acesso, ao baixo custo e às formas atrativas de comunicação, tais como o uso de bate-papo, a interação entre os grupos criados e a visualização e o compartilhamento de vídeos e fotos (BESERRA *et al.*, 2016).

Figura 1 – Página inicial de “Educando_Saude” na rede social Instagram



Fonte: https://www.instagram.com/educando_saude/

Figura 2 – Publicações da página “Educando_Saude” na rede social Instagram



Fonte: https://www.instagram.com/educando_saude/

Caminhar para a interdisciplinaridade e para práticas de educação em saúde com metodologias não convencionais de ensino é uma atividade que, gradativamente, vai se consolidando e solicita investimentos em gestores e profissionais, além de tempo e de recursos financeiros. Nossa forma de nos comunicar está passando por uma transformação de grandes proporções, visto que “reduzimos distâncias, derrubamos fronteiras, transpomos o texto, a mente, o corpo; podemos estar aqui e agora, e ao mesmo tempo, em diferentes lugares com as mais diferentes pessoas, das mais diferentes culturas e linguagens” (VASCONCELOS; SANTOS, 2016, p. 5).

É possível educar por meio da livre expressão e do respeito pela diversidade, pelo diálogo, em que se constrói conhecimento, pelo respeito às ideias e saberes, em um movimento de protagonismo dos atores sociais, todos utilizando sua bagagem crítico-reflexiva da realidade. Mesmo se constituindo um desafio à área da saúde, visto que a formação em saúde é, em geral, verticalizada, acredita-se na possibilidade da evolução, das metodologias das práticas de educação em saúde, da quebra do paradigma biomédico e de hegemonia do saber, do complexo processo de educar para a saúde.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos questionamentos, pode-se inferir que os adolescentes estão cada vez mais interessados em assuntos prevalentes nas mídias,

com certa preocupação com a saúde, o corpo e a mente. Algumas perguntas causaram perplexidade aos pesquisadores. Em nenhum momento se imaginou que a indagação maior dos estudantes seria sobre o câncer. Esse dado denota a importância de a comunidade participar do processo, escolher temas e formas de socialização.

Foram limitações do estudo a negativa de alguns pais que não concordaram com o estudo, considerando que os jovens queriam participar. Muitos estudantes não participaram da pesquisa, situação que pode demonstrar que ainda não há abertura, confiança e/ou coragem suficiente para “quebrar o gelo” entre os profissionais de saúde e de educação, estudantes e familiares. Trata-se de uma lacuna importante que devemos preencher, além de construir laços e fortalecer parcerias.

A implementação da internet/informática para promoção de saúde e prevenção de agravos pode se tornar um método de socialização da informação, de orientações e de empoderamento para a busca de uma vida mais saudável. A saúde ainda é um tema que desperta muita curiosidade e as redes sociais, se bem conduzidas, podem ser uma ferramenta de socialização e empoderamento do estudante nessa área.

A página do Instagram foi criada e foram iniciadas as postagens. Em um segundo momento, pretende-se estudar o impacto dessa ferramenta na resolução das dúvidas dos participantes. Assim, este estudo não se esgota e tem-se, como pressuposto, que a página pode representar um significativo meio para a educação em saúde.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, S. S.; ARAÚJO-JORGE, T. C. O que dizem as propostas curriculares do Brasil sobre o tema saúde e as doenças negligenciadas? Aportes para a educação em saúde no ensino de ciências. *Ciênc. Educ.*, v. 24, n. 1, p. 125-140, 2018.
- BESERRA, G. L. et al. Atividade de vida “comunicar” e uso de redes sociais sob a perspectiva de adolescentes. *Cogitare Enfermagem*, v. 21, n. 1, p. 1-9, 2016.
- BOMFIM, G. F.; PAESE, M. C. S.; SILVA, A. C. Educação em Saúde: a percepção da imagem corporal, hábitos alimentares e práticas físicas em adolescentes escolares de Sinop-MT. *Corixo – Revista de Extensão Universitária*, v. 6, p. 32-41, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. *Glossário temático: gestão do trabalho e da educação na saúde*. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2012a.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional da Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Brasília, 2012b.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Boletim Epidemiológico da Sífilis*, v. 48, n. 36, 2017.
- BRASIL. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). *Estimativa 2018: síntese de resultados e comentários*. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/estimativa/2018/sintese-de-resultados-comentarios.asp>. Acesso em: 20 out. 2018.
- CARVALHO, F. L. O. et al. HPV como principal precursor do câncer de colo de útero em adolescentes. *Revista de Saúde ReAGES*, v. 1, n. 2, p. 23-36, ago. 2018. Disponível em: <http://npu.faculdadeages.com.br/index.php/revistadesaude/article/view/94>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- CHAVES, A. F. L. et al. Reanimação cardiopulmonar nas escolas: avaliação de estratégia educativa. *Revista Expressão Católica Saúde*, v. 2, n. 1, p. 65-72, 2017.
- COSTA, R. F. Redes de apoio ao adolescente no contexto do cuidado à saúde: interface entre saúde, família e educação. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, v. 49, n. 5, p. 741-747, 2015.
- FAIAL, L. C. M. et al. A escola como campo de promoção à saúde na adolescência: revisão literária. *Revista Pró-UniverSUS*, v. 7, n. 2, p. 22-29, 2016.
- FERREIRA, R. W. et al. Desigualdades sociodemográficas na prática de atividade física de lazer e deslocamento ativo para a escola em adolescentes: Pesquisa Nacional de Saúde do Escolar (PeNSE 2009, 2012 e 2015). *Cad. Saúde Pública*, v. 34, n. 4, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311x00037917>. Acesso em: 20 out. 2018.
- FONTANA, R. T. O processo de educação em saúde para além do hegemônico na prática docente. *Contexto & Educação*, ano 33, n. 106, 2018.
- GUSTAVO, L. S.; GALIETA, T. A educação em saúde está contemplada na formação inicial de professores de ciências biológicas? *Revista da SBEnBio – Associação Brasileira de Ensino de Biologia*, v. 7, p. 4.877-4.889, 2014.
- MACHADO M. F. A. S et al. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 12, n. 2, p. 335-342, 2007.
- MARTINS, R. M. L. et al. Prevalência e determinantes das perturbações musculoesqueléticas em adolescentes. *Revista psicologia da criança e do adolescente*, v. 7, n. 1-2, p. 73-82, 2016.
- PEREIRA, E. F.; VALE, Y. F. *Prevalência do conhecimento sobre IST/AIDS em adolescentes de escolas públicas na cidade de Aracaju/SE*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) – Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2017.
- PICCIN, C. et al. Projeto adolescer: promovendo educação em saúde com adolescentes de uma escola municipal. *Rev. Enferm. Atenção Saúde*, v. 6, n. 2, p. 161-168, 2017.
- QUEIROZ, M.V.O. et al. Participação de adolescentes em ações educativas sobre saúde sexual e contracepção. *Rev. Bras. Promoç. Saúde*, Fortaleza, v. 29, n. supl., p. 58-65, 2016.
- RAMOS, A. C. P. et al. Consulta ginecológica sob a ótica de adolescentes. *Revista de Enfermagem do Centro Oeste Mineiro*, v. 3, n. 4, p. 1.248-1.261, 2014.
- SANTOS, W. S. *Conhecimento sobre a prevenção das ISTs/AIDS e gravidez, nos adolescentes de uma escola pública do estado de Sergipe*. Monografia (Graduação em Medicina) – Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2018.
- SILVA-SOBRINHO, R. A. et al. Percepção dos profissionais da educação e saúde sobre o programa saúde na escola. *Revista Pesquisa Qualitativa*, v. 5, n. 7, p. 93-108, 2017.
- SILVA, B. R. V. S. et al. Cefaleia e a qualidade de vida em adolescentes. *Headache Medicine*, v. 6, n. 1, p. 19-23, 2015.
- SILVA, E. N.; ALVES, F. M.; SANTOS, K. J. L. *Prevalência e associação entre os diferentes fatores de risco e a migrânea em adolescentes*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Educação Física) – Centro Universitário Tabosa de Almeida, Caruaru/PE, 2018.
- VASCONCELOS, C. A.; SANTOS, J. W. Educar para a saúde no século XXI: falas de professores. *Scientia Plena*, v. 12, n. 22, 2016.

DADOS DOS AUTORES

Larissa Scheeren Thomas (lari_scheeren_thomas@hotmail.com). Acadêmica do curso de Enfermagem da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, *campus* Santo Ângelo (RS).

Rosane Teresinha Fontana. Doutora em Enfermagem. Docente na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, *campus* Santo Ângelo (RS).

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE *BAKING* ÁCIDO UTILIZANDO ENERGIA DE MICRO-ONDAS PARA REDUÇÃO DO TEOR DO ELEMENTO FÓSFORO CONTIDO NO MINÉRIO DE FERRO

Leonardo Martins da Silva

Marisa Nascimento

Elizabeth Mendes

Anderson Vergílio

Márcio Teodoro Fernandes

José Adilson de Castro

RESUMO: O minério de ferro, quando encontrado contendo teores elevados de fósforo, torna-se prejudicial à fabricação do aço. Todavia, dependendo da forma como o elemento fósforo se apresenta, torna-se necessária a aplicação de energia para sua liberação. Sendo assim, neste trabalho, foi avaliado o processo de aquecimento das partículas utilizando energia de micro-ondas em amostra de minério de ferro percolado por ácido sulfúrico seguido da técnica de lixiviação como rota viável de redução do teor de fósforo nas partículas de minério de ferro. Através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível observar a estrutura das partículas de minério de ferro após seu tratamento com energia de micro-ondas. Através da utilização do planejamento estatístico fatorial com pontos centrais e axiais, foi possível determinar as condições ótimas utilizadas no processo de aquecimento e lixiviação ácida. Nessas condições, a redução do teor de fósforo na amostra de minério de ferro alcançou o valor de 100% em um tempo de aquecimento de 6 minutos, sendo possível demonstrar a influência positiva do processo de percolação ácida (*baking* ácido) utilizando a energia de micro-ondas para o aquecimento das partículas.

Palavras-chave: Micro-ondas. Lixiviação. Redução de fósforo. Minério de ferro.

ABSTRACT: Iron ore when found to contain high levels of phosphorus is detrimental to steel production. However, depending on how the phosphorus element appears, it is necessary to apply energy for its release. Thus, in this work the particle heating process was evaluated using microwave energy in iron ore sample percolated by sulfuric acid followed by the leaching technique as a viable route of reduction of the phosphorus content in the iron ore particles. Through the scanning electron microscopy (SEM) technique it was possible to observe the structure of the iron ore particles after their treatment with microwave energy. Through the use of factorial statistical planning with central and axial points it was possible to determine the optimum conditions used in the heating and acid leaching process. In these conditions the reduction of the phosphorus content in the sample of iron ore reached the value of 100% in a time of heating of 6 minutes being possible to demonstrate the positive influence of the process of acid percolation (acid *baking*) using the energy of microwaves for the heating of the particles.

Keywords: Microwave. Leaching. Reduction of phosphorus. Iron ore.

lixiviação em meio ácido. Todavia, a forma de aquecimento deve ser estudada. Segundo Hui-king *et al.* (2013), o pré-tratamento utilizando energia de micro-ondas em vários minérios durante o processo de mineração e metalurgia é considerado um novo método desenvolvido nas últimas décadas. Seus resultados são empolgantes e demonstram que a energia de micro-ondas tem um bom potencial para o tratamento mineral e para processos metalúrgicos. Pré-tratamentos utilizando energia de micro-ondas em partículas de minério de ferro baseia-se no conceito da diferença de potencial de absorção da energia daquela energia observada nos diversos minerais presentes nestas partículas e, portanto, alguns minerais teriam reações químicas, transições de fases ou alterações microestruturais específicas sob radiação de micro-ondas. Segundo Toifl *et al.* (2016), o processo físico de aquecimento por micro-ondas é descrito pela constante dielétrica complexa e (permissividade), sendo: $\epsilon = \epsilon_r + i\epsilon_i = \epsilon_0(k_r + ik_i)$.

k_r é considerada a parte real da permissividade relativa, k_i a parte imaginária e ϵ_0 define a permissividade do vácuo. A absorção de micro-ondas é governada principalmente por k_i . Segundo Hartlieb *et al.* (2016) relatou que, devido à aplicação de irradiação por micro-ondas em partículas de minérios, tensões térmicas diferenciais ao redor dos limites dos grãos são intensificadas, sendo consideradas, assim, como a principal fonte de craqueamento das partículas. Análises indicaram que, em partículas minerais nas quais encontram-se minerais absorvedores fortes em uma matriz não absorvente, foi observado que os minerais das partículas de minério aquecem extraordinariamente rápido em comparação com a ganga (JONES *et al.*, 2005; ALI; BRADSHAW, 2010; 2011). Sendo assim, de acordo com esses estudos, a expansão térmica ocorrida devido à absorção de micro-ondas aumenta a fase da matriz e cria tensões de tração em torno dos limites de grãos. Segundo Haque *et al.* (1998), [8] foram observadas tensões térmicas e fraturas em amostras de minério de ferro submetidas a diferentes taxas de aquecimento por emissão da energia de micro-ondas.

Indo de encontro à formação de fraturas observada no processo do rápido aquecimento promovido pela absorção das micro-ondas em minerais absorvedores, o processo de *baking* ácido pode surgir como um incremento externamente benéfico para a remoção do teor de fósforo em partículas de minério de ferro. O processo de *baking* ácido convencional utiliza-se de um processo contínuo de aquecimento das partículas em forno convencional juntamente com a massa

de ácido sulfúrico de concentração analítica promovendo assim o contato dos íons de hidrogênio com a estrutura fosfática onde catalisada pela alta temperatura promove o rompimento da estrutura fosfática onde adicionada a um volume de água na temperatura ambiente ocorre o processo de lixiviação em tanques com agitação controlada ocasionando assim a liberação do fósforo para o meio em forma de ácido fosfórico. Todavia, o processo de *baking* ácido em micro-onda apresenta a vantagem de aquecimento rápido da ordem de minutos, enquanto no *baking* ácido convencional o tratamento é desenvolvido em horas. A característica fundamental dessa rota, entretanto, está na integração de uma sequência de beneficiamento com aquecimento rápido das partículas de minério de ferro juntamente com a massa de ácido sulfúrico onde será possível a liberação do fósforo. Porém, além do rápido aquecimento, existem outras vantagens inerentes a essa rota, utilizando o aquecimento promovido pela energia de micro-ondas na mistura ácido-minério de ferro em comparação aos processos tradicionais:

- aquecimento específico nas partículas do minério de ferro;
- geração de aquecimento interno nas partículas de minério de ferro;
- geração de fraturas nas partículas de minério de ferro;
- lixiviação em tanques com agitação controlada;
- vantagens econômicas (baixo custo de reagentes e baixos tempos de aquecimento das partículas);
- total reaproveitamento do subproduto formado;
- possibilidade de reformulação da solução lixiviante;
- geração de remoção de fósforo em partículas de minério de ferro da ordem de 100%.

Sendo assim, neste trabalho, é avaliada a rota de redução do teor de fósforo através do aquecimento, utilizando energia de micro-ondas em partículas de minério de ferro percoladas por ácido sulfúrico seguido da técnica de lixiviação controlada. A característica fundamental dessa rota está na integração de uma sequência de beneficiamento com aquecimento das partículas de minério de ferro da ordem de 100°C por minuto até aproximadamente 300°C, quando será possível a liberação do fósforo. Em seguida, as partículas de minério de ferro são adicionadas em um volume de água na temperatura ambiente, ocorrendo, assim, a queda de temperatura destas na taxa de 100°C por segundo, quando passarão pelo processo de lixiviação controlada.

Os experimentos foram realizados seguindo a metodologia do planejamento fatorial com pontos centrais e axiais. Esse modelo envolve estatisticamente variáveis independentes significativas, levando em conta ($P < 0,05$). Regressões múltiplas foram aplicadas na análise de dados experimentais para prever os coeficientes vistos no modelo polinomial de segunda ordem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterizações do minério de ferro

Difração de raios X (XRD), microscopia eletrônica de varredura (SEM) e espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) foram realizados para a caracterização das amostras tratadas e não tratadas com a energia de micro-ondas.

As amostras de minério de ferro são originárias da região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, Brasil. Todas as amostras foram cominuídas em moinho de barras nas instalações do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), gerando frações granulométricas inferiores a 48 microns. As frações obtidas foram submetidas, na forma de pó, a análises de difração de raios X utilizando o método de Rietveld paralelamente a análises de microscopia eletrônica de varredura. A técnica de difração de raios X através do método de Rietveld tem por base a simulação de todo um perfil difratométrico, partindo de parâmetros estruturais das fases componentes e permitindo que mais informações possam ser extraídas dos difratogramas. O método de Rietveld leva em consideração a sobreposição dos picos de todas as fases presentes e as contribuições do ruído de fundo (*background*).

Na Figura 3, é apresentado o espectro de difração de raios X do minério de ferro utilizado nesta investigação e, na Tabela 1, é demonstrada a composição mineralógica da amostra de minério de ferro.

Figura 3 – Espectro de difração de raio X da amostra de minério de ferro

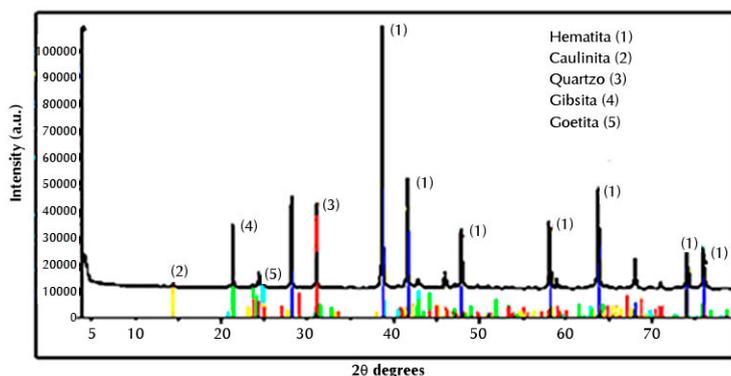


Tabela 1 – Composição mineralógica da amostra de minério de ferro (% por fração mássica)

MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA	FRAÇÃO MÁSSICA, %
Hematita	(Fe ₂ O ₃) (1)	72,89
Caulinita	[Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄] (2)	4,64
Quartzo	(SiO ₂) (3)	12,05
Gibsita	[Al(OH) ₃] (4)	3,18
Goethita	[FeO(OH)] (5)	7,25

Hematita, Quartzo e Goethita foram as principais fases identificadas através do método de difração de raios X, em que foi observada a ausência de compostos apatíticos e aluminosilicatados.

A análise química foi realizada utilizando o método de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado realizado no CETEM. O teor de fósforo na amostra de minério foi de 346 mg/kg o que corresponde a 0,0346%. As análises de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas na Universidade Federal Fluminense (UFF).

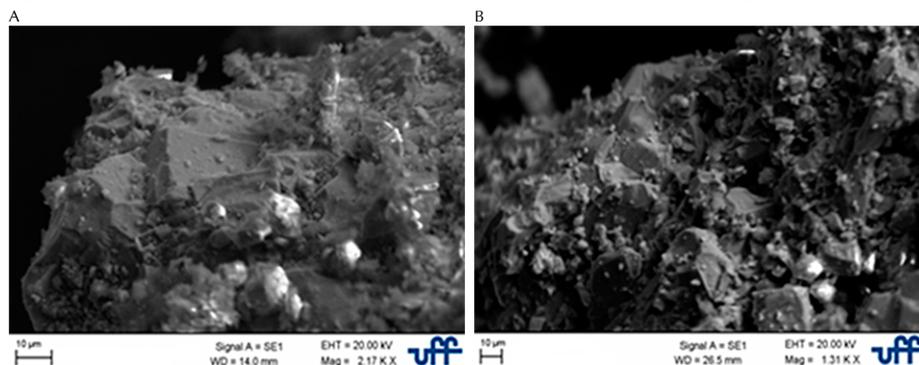
Efeitos do processo de *baking* ácido do minério de ferro utilizando energia de micro-ondas

Um reator de micro-ondas convencional (Modelo: PMS-24) com potência de 1200 W emitindo radiação de micro-ondas com frequência de 2450 MHz foi utilizado para tratar os finos de minério. No reator de micro-ondas convencional, as micro-ondas são geradas através do equipamento denominado magnétron, o qual encontra-se localizado na parte superior à direita do equipamento. Sendo assim, a amostra de minério de ferro foi posicionada na parte inferior à esquerda do equipamento, onde se observou ser o local em que há mais incidência de radiação de micro-ondas. O interior do reator tem dimensões de 260 mm (altura), 460 mm (largura) e 320,3 mm (comprimento). A saída do emissor de micro-ondas encontra-se localizada no canto superior direito.

As amostras foram tratadas com diferentes níveis de tempo e potência apresentada pelo forno de micro-ondas e sob atmosfera de ar. Quando se atingia o tempo de permanência da amostra no reator, ocorreu a interrupção do tratamento e a amostra em seguida era adicionada a um reator contendo 500 ml de água na temperatura ambiente onde, após sua inserção, ocorreu a formação de fraturas nas partículas de minério de ferro, como se pode observar nas Figuras 4 A e B.

As Figuras 4 A e B apresentam as imagens dos finos de minério tratado e não tratado por energia de micro-ondas.

Figura 4 – Micrografias do minério de ferro *in natura* (A) e pré-tratado por energia de micro-ondas (B) na granulometria de 48µm



Na Figura 4, através das imagens geradas por microscopia eletrônica de varredura, é observada a formação de fraturas nas partículas de minério de ferro, tendo granulometria de 48 µm. Foi possível observar que, nos finos de minério sem tratamento, a estrutura encontra-se densa e sem qualquer tipo de fratura ou inclusões. Também na Figura 4 B, após o tratamento sob potência de micro-ondas de 1.200 W, observa-se a ocorrência de algumas fraturas. Sendo assim, as evidências ocorridas através das análises microestruturais levam à conclusão de que a radiação por micro-ondas induz ao aquecimento rápido, que gera fissuras no minério, resultando em um possível enfraquecimento das partículas.

Indo de encontro ao relatado anteriormente, o trabalho realizado por Peelamedu, Roy e Agrawal (2001) indicou que a interação do campo magnético com alguns materiais contribui muito para a taxa de aquecimento comparada aos materiais expostos ao campo elétrico.

Segundo Haque (1999), a temperatura máxima atingida ocorre devido ao aumento da saturação magnética e da magnetização remanescente das amostras de minério de ferro. Quando se utiliza a frequência de 2.450 MHz, o alinhamento das moléculas e seu retorno ao estado de desordem ocorrem $4,9 \times 10^9$ vezes por segundo, o que resulta em um aquecimento rápido e eficiente. Todavia, o aquecimento devido a esse processo depende do tempo de relaxação da amostra, sendo definido como o tempo necessário para ordenar totalmente e desordenar 63% da amostra (KRUG, 2004). Segundo Haque (1999), a energia de micro-ondas fornece um possível mecanismo para induzir a ruptura entre os minerais de valor no minério e a ganga, ou rocha hospedeira. Tal fato pode ser explicado devido ao diferencial na absorção da energia das micro-ondas e as diferenças térmicas dadas pelas fases minerais nas partículas do minério de ferro.

O processo de redução do teor de fósforo utilizando energia de micro-ondas em *baking* ácido seguido de lixiviação é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Processo de redução do teor de fósforo utilizando energia de micro-ondas em *baking* ácido seguido de lixiviação



Para a avaliação do processo de *baking* ácido utilizando energia de micro-ondas, foi utilizado o delineamento composto central rotacional (DCCR), em que foi possível avaliar a influência das variáveis independentes tempo e potência do forno micro-ondas durante a interação da massa de 50g de amostra de minério de ferro com tamanho granulométrico médio de 48 micrometros percolada por 25g de ácido sulfúrico concentrado.

Usando planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos, os pesquisadores podem extrair do sistema em estudo o máximo de informação útil, fazendo um número mínimo de experimentos. Existem várias técnicas disponíveis aos cientistas e engenheiros para melhorar ou aperfeiçoar sistemas, processos e produtos. Essas técnicas são ferramentas poderosas, com as quais vários objetivos específicos podem ser alcançados (DUKINO, 1997).

A Tabela 2 apresenta os valores utilizados no planejamento fatorial dentro de cada intervalo de coeficiente experimental e também dentro dos níveis (-1, 1) e fora desses níveis.

Tabela 2 – Níveis utilizados no planejamento fatorial

Variáveis	-1,41	-1	0	1	+1,41
Tempo (min)	2	4	6	8	10
Potência do forno (%)	1	25	50	75	100

Os valores apresentados na Tabela 2 foram estipulados considerando-se a média entre os valores axiais superiores e inferiores.

A Tabela 3 apresenta os resultados das interações entre as variáveis independentes seguida de superfície resposta.

Tabela 3 – Níveis utilizados no planejamento fatorial

Ensaio	Tempo (min)	Potência (%)	Remoção de P (%)	Remoção de Fe (%)	Relação P/Fe
1	4	25	1,94892473	0,650229358	2,99728812
2	8	25	90,1029666	0,0886850153	1015,98862
3	4	75	44,858871	0,425458716	105,436484
4	8	75	46,1506336	0,861074705	53,5965502
5	2	50	52,1829397	0,161902031	322,311828
6	10	50	4,1296323	0,0861115662	47,9567668
7	6	1	2,56048387	0,0921253823	27,7934681
8	6	100	4,42684332	0,0942278287	46,9802114
9	6	50	100	0,354740061	281,896552
10	6	50	62,2611847	0,093040083	669,186685

Efeito cinético do processo de lixiviação

O efeito cinético da técnica de lixiviação em tanque com agitação controlada foi avaliado utilizando um volume de 300 mL de água como agente de lixiviação. A solução foi adicionada a um bécher de 500 mL que serviu com reator. Amostras de diferentes massas de minério de ferro foram reagidas de acordo com um planejamento incluindo níveis axiais de -1,41 a +1,41 (sendo definido através da equação $2 \times k$, sendo k = número de níveis). Foi avaliada a variável tempo de permanência da amostra no forno micro-ondas e a variação de potência aplicada do forno micro-ondas. Para o processo de lixiviação das partículas, foi agitada a mistura reacional com o auxílio de um agitador mecânico marca IKA modelo RW20. Após o término do tempo reacional, a mistura foi filtrada a vácuo em funil de Büchner e levada à estufa para secagem, a 40°C por uma hora. Todas as amostras foram então encaminhadas para análise quantitativa do fósforo contido. A análise do efeito da interação entre as diferentes variáveis foi realizada utilizando o software Statistica 8.0, desenvolvido pela empresa Statsoft com a finalidade de obter a combinação de valores que ilustram o modelo de superfície de resposta. A quantificação do fósforo foi realizada pelo Laboratório de Análise Química, localizado no Centro de Tecnologia Mineral mantido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia

e Inovação (CETEM / MCTI), onde foi utilizada a técnica de espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

Eis o cálculo da porcentagem de remoção:

$$\% = \frac{c_i - c_f}{c_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde c_f é a concentração final do elemento fósforo após o processo de lixiviação e c_i é a concentração inicial do elemento fósforo antes do processo de lixiviação.

Segundo Graham (1973), a calcinação do minério de ferro causa desidratação da goethita para hematita, liberando o fósforo em solução como um composto solúvel em ácido.

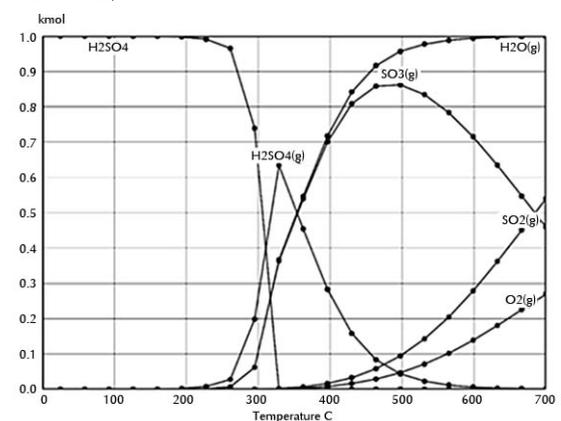
Logo após a liberação do elemento fósforo para o meio líquido, a reação de desfosforação ocorrerá utilizando o ácido sulfúrico proveniente das partículas como meio lixiviante da seguinte forma:



De acordo com a equação 2, é necessária a interação de 20 íons H^+ para que ocorra a reação de desfosforação do minério de ferro. Sabe-se que a acidez da primeira dissociação da molécula H_2SO_4 apenas envolve a formação das espécies H_3O^+ e $HOSO_3^-$, sendo necessária a segunda dissociação para liberação dos íons H^+ existentes no ânion $HOSO_3^-$. A hidratação do dímero $(H_2SO_4)_2$ sempre conduz a formas iônicas, porém a dissociação torna-se mais fácil para sistemas maiores em que há um aumento no número de moléculas de água ou de moléculas de ácido sulfúrico.

A composição de equilíbrio do ácido sulfúrico em função da temperatura usando o módulo de equilíbrio do HSC Chemistry © 7.1 é mostrada na Figura 5, na qual foi demonstrada que a solução de ácido sulfúrico será decomposta a temperaturas superior a 200°C.

Figura 6 – Composição de equilíbrio do ácido sulfúrico em função da temperatura utilizando o módulo de equilíbrio do HSC Chemistry © 7.1 (ácido sulfúrico a 1 kmol, pressão total: 1 bar)



Como pode ser visto na Figura 6, a decomposição do ácido sulfúrico é insignificante a temperaturas inferiores a 250°C.

Nos testes com a aplicação de micro-ondas, toda massa de ácido foi evaporada tendo o tempo máximo de contato de 10 minutos respectivamente, principalmente devido à conversão de $H_2SO_4(l)$ em $H_2SO_4(g)$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

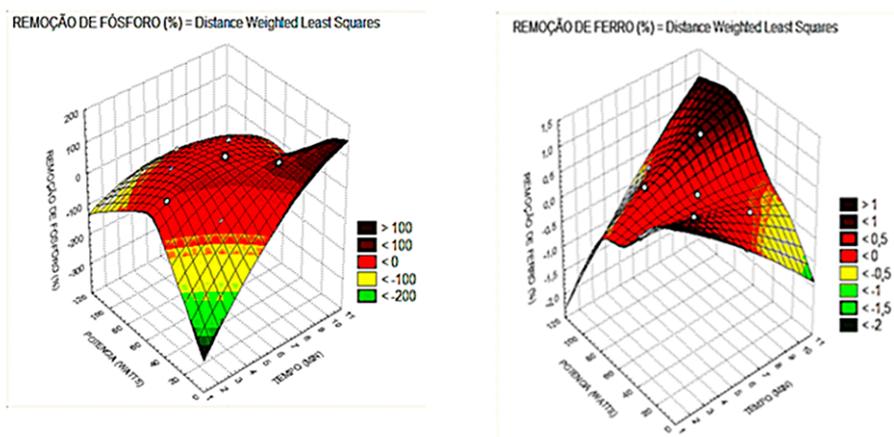
Efeitos das variáveis tempo e potência do forno micro-ondas em função da porcentagem de remoção de fósforo e ferro

A interação entre as diferentes variáveis independentes em função da redução do teor de fósforo foi apresentada na Tabela 3. Para o processo, foram utilizados 50 g de amostra percolada em 25 g de ácido sulfúrico concentrado

no interior do forno micro-ondas. Em seguida, a amostra foi lixiviada em água com agitação de 620 rpm. Após o processo de lixiviação nas condições anteriormente apresentadas, foram observados, no ensaio 9, os valores de remoção de 100% de P e 0,1% de Fe utilizando 50% da potência do forno de micro-ondas em 6 minutos de aquecimento da mistura ácido sulfúrico – minério de ferro. No ensaio 2, foram observados valores de remoção de 90% de P e 0,08% de Fe utilizando 25% da potência do forno de micro-ondas em 8 minutos de aquecimento da mistura ácido sulfúrico – minério de ferro. Sendo assim, esses foram considerados os ensaios ótimos para redução do teor do elemento fósforo nas partículas de minério de ferro.

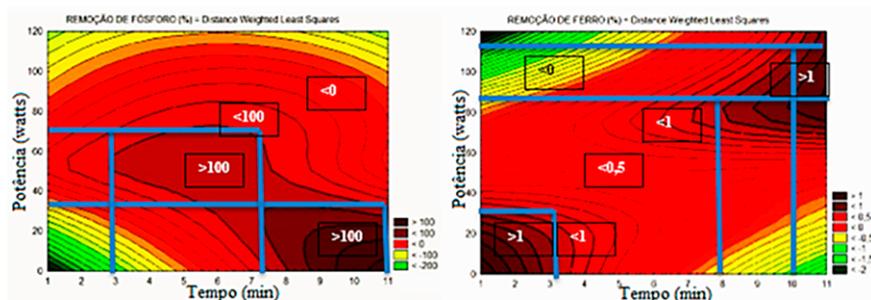
Nas Figuras 7 e 8 A e B são demonstrados os perfis em 3D e 2D da redução do teor de fósforo e ferro em função do tempo de contato da amostra com a energia de micro-ondas e da potência aplicada pelo forno na amostra de minério de ferro percolada.

Figuras 7A e 7B – Perfis de redução em 3D do teor de fósforo e ferro em função do tempo de contato da amostra com a energia de micro-ondas e da potência aplicada pelo forno na amostra de minério de ferro percolada



Nas Figuras 7A e 7B, são apresentados, em 3D, os contornos de isovalores do percentual de redução do teor de fósforo e ferro em função do tempo de contato da amostra com a energia de micro-ondas e da potência aplicada pelo forno na amostra de minério de ferro percolada.

Figuras 8A e 8B – Perfis de redução em 2D do teor de fósforo e ferro em função do tempo de contato da amostra com a energia de micro-ondas e da potência aplicada pelo forno na amostra de minério de ferro percolada



Nas Figuras 8A e 8B, são apresentados em 2D os contornos de isovalores do percentual de redução do teor de fósforo e ferro em função do tempo de contato da amostra com a energia de micro-ondas e da potência aplicada pelo forno na amostra de minério de ferro percolada.

Observa-se que valores altos de remoção podem ser obtidos tanto por combinações de potências menores e maiores tempos de contato com a energia de micro-ondas. Foi observado também que altos percentuais de remoção de fósforo foram obtidos em tempo entre 7 e 10 min, tendo entre 30 e 60% da potência máxima do forno micro-ondas utilizado.

Os resultados indicaram que a potência fornecida pelo forno de micro-ondas deve ter valores intermediários, revelando que o aquecimento obedece a uma taxa moderada para que o ácido tenha um tempo de contato maior com as partículas de minério de ferro. Indo de encontro com o afirmado anteriormente, observou-se que o tempo de contato tem grande influência na redução do teor de fósforo das partículas de minério de ferro. Os melhores resultados indicaram uma constante evolução no tempo de contato do ácido sulfúrico com as partículas de minério de ferro.

Segundo Toifl *et al.* (2016), observa-se que a expansão térmica aumenta rapidamente quando a temperatura está próxima da transformação de fase. Além disso, uma forte diferença entre a expansão térmica ao longo do eixo dos cristais é observada. Isso dá origem à conjectura de que fortes efeitos anisotrópicos devem ser vistos dentro do campo de estresse da partícula.

Segundo Kim, Park e Mishra (2009), a lixiviação direta com ácido sulfúrico foi observada como ineficiente para remoção de metais. Ainda

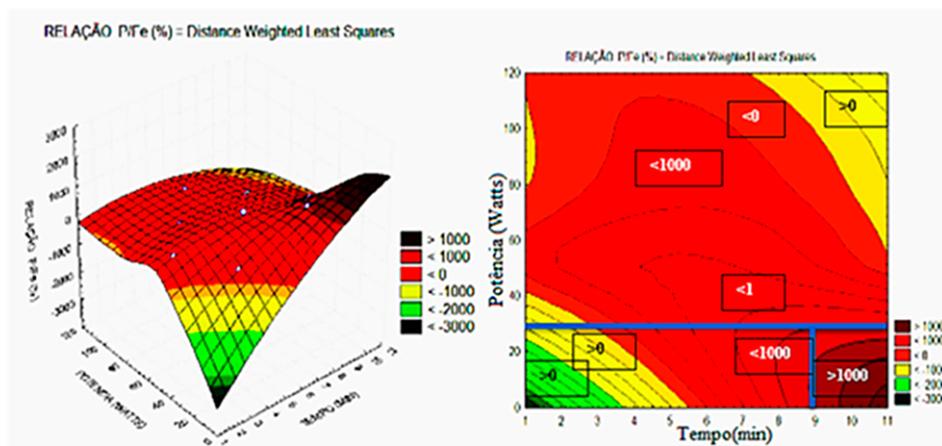
segundo os autores, notou-se serem necessários grandes excessos de ácido e / ou maior duração do tempo de lixiviação para atingir a dissolução de > 90% de todos os metais. Todavia, observou-se também que o processo requer grande excesso de ácido (> 4,5 vezes a estequiometria) e a permanência da mistura em forno em temperaturas entre 250 e 300 °C por um período de 2 h. Para o consumo total de ácido, o tempo do processo de cozimento e lixiviação deverá ser de cerca de 1,5 vezes o tempo estequiométrico. Isso pode ser explicado devido à taxa de evaporação do ácido sulfúrico (ponto de ebulição a 338 °C), considerando que temperaturas acima desta excedem a taxa de sulfatação desses óxidos metálicos.

Indo de encontro ao aumento da superfície de contato, a energia de micro-ondas oferece essa grande vantagem, tendo em vista dado valor de 100% da remoção do elemento fósforo das partículas de minério de ferro.

Segundo Toifl *et al.* (2016), obviamente, as tensões induzidas por micro-ondas em materiais dependem fortemente da presença de fases absorventes na microestrutura. Um aquecimento suficientemente forte desencadeia uma transformação de fase nos grãos de quartzo que leva a estresses ainda maiores em ambos os constituintes. Assim sendo, um padrão de fratura diferente é esperado no caso anisotrópico. As transformações de fase, bem como o comportamento anisotrópico dos cristais de quartzo, têm grande potencial de promover fraturas.

Nas Figuras 9A e 9B, é apresentada em 3D e 2D a relação da redução do teor de fósforo e ferro em função das variáveis massa e tempo de contato das amostras de minério de ferro percoladas com ácido sulfúrico sob ação da radiação de micro-ondas.

Figuras 9A e 9B – Relação em 3D e 2D para a redução do teor de fósforo e ferro em função das variáveis massa e tempo de contato das amostras de minério de ferro percolada com ácido sulfúrico sob ação da radiação de micro-ondas



Nas Figuras 9A e 9B, demonstrou-se que as melhores relações de taxas de redução do teor de fósforo nas partículas de minério de ferro, com menores reduções de ferro das partículas, ocorreram tendo a potência aplicada pelo forno micro-ondas em valores próximos a 30%. Isso ocorreu em um tempo de permanência da amostra percolada no forno acima de 9 minutos, confirmando o resultado encontrado no trabalho de Kim, Park e Mishra (2009). Segundo os autores, o efeito da duração do aquecimento na porcentagem de dissolução dos metais foi de grande importância, sendo encontradas temperaturas de 300 °C com 1,2 vezes valores estequiométricos de ácido sulfúrico para diferentes intervalos de tempo entre 1 a 6 h.

O trabalho realizado por Roy, Agrawal e Peelamedu (2001) mostrou que a interação do campo magnético com alguns materiais contribui muito na taxa de aquecimento comparado aos materiais expostos ao campo elétrico. Segundo Haque *et al.* (1999), a energia de micro-ondas fornece um possível mecanismo para induzir a ruptura entre os minerais de valor no minério e a ganga, ou rocha hospedeira. Tal fato pode ser explicado devido ao diferencial na absorção de energia das micro-ondas e as diferenças térmicas dadas pelos coeficientes de expansão entre as várias fases minerais nas partículas do minério de ferro.

De acordo com os autores Haque (1998), foi sugerido que o processo de aquecimento por micro-ondas pode acumular energia interna nos materiais. Neste estudo, verificou-se que as amostras acumulam energia suficiente para promover fissuras durante a têmpera. Além disso, o aumento da massa da amostra permitiu diminuir o tempo necessário de aquecimento.

A aplicação de um campo magnético a uma substância diamagnética (com momento magnético nulo na ausência de campo) é responsável pela indução de um momento magnético cuja direção é oposta à do campo externo aplicado. Esse é um efeito exatamente oposto ao produzido pelo paramagnetismo, em que o dipolo magnético permanente tende a alinhar-se na mesma direção do campo externo. O aquecimento rápido do minério ocorre devido à alta energia das micro-ondas, que pode ser absorvida em minerais que contêm alto teor de ferro. Por outro lado, a matriz com uma maior quantidade de ganga de difícil absorção de energia de micro-ondas pode gerar grandes gradientes térmicos que permitem que ocorra tensão na partícula. Esse estresse térmico provoca microfatura ao longo das fronteiras dos grãos minerais; como resultado, uma amostra de minério de ferro torna-se mais

favorável para a moagem. Kingman *et al.* (2003) demonstraram que a fratura em amostras de minério de ferro causada pelo tratamento com micro-ondas é uma função da força do campo elétrico. Simulações numéricas de aquecimento das amostras contendo pirita demonstram que o aquecimento rápido ocorre com o contato de micro-ondas em uma matriz transparente e revelou que a amostra foi fraturada devido a gradientes de temperatura através das fronteiras de grão. Também foi sugerido que a fratura foi causada por fases minerais que respondem muito rapidamente, ocorrendo o aquecimento numa matriz transparente de micro-ondas. Este estudo confirmou que o acúmulo de energia desempenha um papel importante nas fraturas e, portanto, espera-se uma maior eficiência de lixiviação ácida.

CONCLUSÃO

Com o objetivo de avaliar o perfil de remoção do elemento fósforo no minério de ferro, foi elaborada uma forma de avaliação utilizando modelagem estatística e cinética, visando às melhores condições para a redução do teor de fósforo e a manutenção do teor de ferro nas partículas de minério de ferro. Para isso, foram testadas amostras percoladas com ácido sulfúrico em diferentes valores de tempo e potência de micro-ondas e diferentes tempos de lixiviação.

Através dos valores demonstrados, é possível concluir que a utilização das micro-ondas no processo de redução do teor de fósforo em partículas de minério de ferro é extremamente benéfica. Isso ocorre devido à alta taxa de aquecimento das partículas, além das fraturas geradas, que incrementam a superfície de contato como ácido sulfúrico percolado.

A partir disso, foi possível concluir que o tempo de contato e a potência de emissão de micro-ondas são extremamente relevantes para o processo, que se favorece do aumento do tempo de contato do minério de ferro percolado com o ácido sulfúrico e a energia de micro-ondas e da diminuição da potência de micro-ondas. Foram encontrados altos valores de redução do teor do elemento fósforo acima de 90% em tempo acima de 6 minutos, tendo valores de potência abaixo de 50% da emissão máxima do forno de micro-ondas. Tal ocorrência enfatiza a importância do pré-tratamento do minério de ferro com a energia de micro-ondas, o que torna possível o aumento da taxa de remoção do elemento fósforo, mantendo o teor de ferro das partículas de minério de ferro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos financiadores: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Agradecem também à equipe do Centro de Tecnologia Mineral pelo desenvolvimento dos ensaios e análises químicas e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal Fluminense pelo apoio técnico-científico.

REFERÊNCIAS

- BARBOUR, A. R. Distribution of phosphorus in iron ore deposit of Itabira, Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, p. 11-13, 1973.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- CHENG, C. Y.; MISRA, V. N.; CLOUGH, J.; MUN, R. Dephosphorisation of Western Australian Iron Ore by Hydrometallurgical Process. *Minerals Engineering*, v. 12, n. 9, p. 1083-1092, 1999.
- DUKINO, R. Phosphorus in Hamersley Range iron ore. *BHP Internal Report*, USA, 1997.
- GOODEN, J. E. A.; WALKER, W. M.; ALLEN, R. J. A. 'AMDEPHOS' – A chemical process for dephosphorisation of iron ore. Proceedings of National Chemical Engineering Conference, Queensland (1974), p. 21-33.
- GRAHAM, J. Phosphorus in iron ore from the Hamersley iron formations. *Proceedings of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, n. 246, p. 41-42, 1973.
- HAQUE, K. E. Microwave energy for mineral treatment processes: a brief review. *International Journal of Mineral Processing*, Ottawa, Ontario, Canada, v. 57, p. 1-24, 1999.
- HARTLIEB, P.; TOIFL, M.; KUCHAR, F.; MEISELS, R.; ANTRETTER, T. Thermo-physical properties of selected hard rocks and their relation to microwave-assisted comminution. *Minerals Engineering*, v. 91, p. 34-41, 2016.
- JIN, Yong-shi; JIANG, Tao; YANG, Yong-bin; LI, Qian; LI, Guang-hui; GUO, Yu-feng. *Removal of phosphorus from iron ores by chemical leaching*. School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China, 2006.
- JONES, D. A.; KINGMAN, S. W.; WHITTLES, D. N.; LOWNDES, I. S. Understanding microwave assisted breakage. *Minerals Engineering*, n.18, p. 659-669, 2005.
- KIM, Hong-In; PARK, Kyung-Ho; MISHRA, Devabrata. Sulfuric acid baking and leaching of spent Co-Mo/Al₂O₃ catalyst. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, p. 1540-1544, 2009.
- KRUG, F. J. Métodos de Decomposição de Amostras. *Workshop sobre Preparo de Amostras*, 5., São Paulo, 2004.
- MORRIS, R. C. A pilot study of phosphorus distribution in parts of the Brockman iron formation. *Hamersley Group Internal Report*, 1973.
- PEIXOTO, G. Improvement of the reduction process in P content and other gangues in iron ore and its agglomerates. *International patent*, n. 93/10271, 1202 p., Pergamon Press Ltd., 1991.
- ROY, R.; AGRAWAL, D.; PEELAMEDU, R. Anisothermal Reaction Synthesis of Garnets, Ferrites, and Spinel in Microwave Field. *Materials Research Bulletin*, v. 36, p. 2723-2739, 2001.
- SRIVASTAVA, U.; KAWATRA, S. K. Strategies for processing low-grade iron ore minerals. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, v. 30, p. 361-371, 2009.
- TANG, H. Q.; GUO, Z. C.; ZHAO, Z. L. Phosphorus Removal of High Phosphorus Iron Ore by Gas-Based Reduction and Melt Separation. *Journal of Iron and Steel Research*, International, v. 17, p. 1-6, 2010.
- TOIFL, M.; MEISELS, R.; HARTLIEB, P.; KUCHAR, F.; ANTRETTER, T. 3D numerical study on microwave induced stresses in inhomogeneous hard rocks. *Minerals engineering*, p. 29-42, 2016.
- XIA, W.; RENY, Z.; GAO, Y. Removal of Phosphorus From High Phosphorus Iron Ores by Selective HCl Leaching Method. *Journal of Iron and Steel Research*, International, v. 18, p. 1-4, 2011.

DADOS DOS AUTORES

Leonardo Martins da Silva. Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores 420 - Vila Sta.Cecília, CEP 27255-125, Volta Redonda – RJ, Brasil.

Marisa Nascimento. Centro de Tecnologia Mineral, Avenida Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária CEP 21941-908, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Elizabeth Mendes. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), Rua do Areal, 522, Pq. Mambucaba, Angra dos Reis, CEP: 23953-030, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Anderson Vergílio. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), Rua do Areal, 522, Pq. Mambucaba, Angra dos Reis, CEP: 23953-030, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

Márcio Teodoro Fernandes. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), Rua do Areal, 522, Pq. Mambucaba, Angra dos Reis, CEP: 23953-030, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

José Adilson de Castro. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), Rua do Areal, 522, Pq. Mambucaba, Angra dos Reis, CEP: 23953-030, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

ANÁLISE DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO EM RESERVATÓRIOS E POTENCIAIS SOLUÇÕES

Aline Cordeiro Pinheiro

Thiago Thielmann de Araújo

RESUMO: Em meio aos avanços tecnológicos e populacionais, o uso e a necessidade de estocagem de água potável destacam-se pelo aumento de sua demanda. No Brasil, a construção de reservatórios em concreto armado para esse fim é adotada em grande parte das edificações. No entanto, patologias decorrentes da inexistência de projetos para manutenção afetam seu desempenho e durabilidade. O proposto artigo identifica, através do estudo de caso de um reservatório em concreto armado, as patologias resultantes da ausência de manutenção e falhas na impermeabilização. Como diagnóstico, é evidenciada a necessidade de elaboração de projetos para manutenção capazes de adequar, ainda na fase de planejamento, o melhor uso e preservação dos reservatórios e sugere-se como potencial solução a adoção de materiais com capacidade de autocura, como o *self-healing concrete*, que estão mais alinhadas às práticas sustentáveis e funcionais, pois reduzem a necessidade de intervenção humana e o consumo de materiais para reparo.

Palavras-chave: Patologias em reservatórios. *Self-healing concrete*. Fissuras em concreto. Patologias no concreto. Bioconcreto.

ABSTRACT: Amid the technological and population advances, the use and the need to store potable water stand out due to the increase in demand. In Brazil, the construction of reservoirs in reinforced concrete for this purpose is adopted in most of the buildings. However, pathologies resulting from the inexistence of maintenance projects affect its performance and durability. The proposed article identifies through the case study of a reservoir in reinforced concrete the pathologies resulting from the absence of maintenance and failures in waterproofing. As a diagnosis, the need for elaboration of maintenance projects, capable of adjusting the best use and preservation of the reservoirs, is suggested, and it is suggested as a potential solution the adoption of self-healing materials such as self-healing concrete that are more aligned with sustainable and functional practices because they reduce the need for human intervention and the consumption of materials for repair.

Keywords: Pathologies in Reservoirs. Self-Healing Concrete. Fissures in Concrete. Pathologies in Concrete. Bioconcrete.

INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos e o crescimento populacional vêm impulsionando a economia em todo o mundo. Fomentado por esse cenário, a engenharia civil progride e se aprimora constantemente. Como grande ícone de consumo desse mercado está o concreto. Segundo pesquisa encomendada pela ABCP (2013) o concreto é o segundo material mais consumido no mundo, atrás apenas da água.

Devido a essa representatividade, pesquisadores, concreteiras e engenheiros estão cada vez mais atentos ao desenvolvimento e o surgimento de novidades relacionadas a esse material. Desde evoluções técnicas e sustentáveis na produção e manejo até a combinação com aditivos específicos que modificam e melhoram a propriedade do produto final adequada à necessidade de cada projeto.

Entretanto, apesar de todo avanço nesses processos, ainda é comum a ocorrência de manifestações patológicas no concreto. Segundo Thomaz (2015), a ocorrência de patologias relacionadas a trincas e fissuras merece atenção especial, uma vez que está relacionada a três aspectos principais. São eles: a sinalização de um possível estado de perigo para a estrutura, o constrangimento psicológico dos usuários da edificação e o comprometimento da obra em sua funcionalidade, que podem afetar sua durabilidade e danificar a estanqueidade da água, por exemplo.

No caso dos reservatórios, em que o concreto está diretamente em contato com a água, as chances de ocorrerem patologias são ainda maiores, principalmente o surgimento de fissuras e trincas que, mesmo de tamanhos milimétricos, podem afetar consideravelmente a durabilidade. Isso ocorre pois aumentam a permeabilidade, possibilitando a entrada de água e produtos químicos que, além da degradação do próprio concreto, podem ocasionar a corrosão da armadura de aço.

Por esse motivo, a manutenção constante dessa estrutura precisa ser tratada como prioridade, uma vez que minimiza os riscos de maiores transtornos no futuro. Em conformidade com a NBR 5674, emitida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1999), estudos apontam que os gastos anuais envolvidos na operação e manutenção das edificações em uso variam entre 1% e 2% do seu custo inicial. À primeira vista, podem parecer valores irrisórios, entretanto, se acumulados, é possível chegarem a ser equivalentes ou até mesmo superiores ao custo total da construção.

As terapias utilizadas na correção das ocorrências de patologias em reservatórios de concreto normalmente são técnicas de manutenção manual dispendiosas, que demandam não só custos financeiros extras com produtos específicos mas também a necessidade de mão de obra disponível, tempo para execução do serviço e transtornos que podem atingir direta ou indiretamente todos os envolvidos que fazem uso do local a ser reparado. Não bastassem os custos de reparo e manutenção que impactam consideravelmente o projeto. Deve-se ainda destacar essa problemática do ponto de vista sustentável, uma vez que essas correções demandam o uso de produtos que em grande parte de sua produção geram emissão de CO₂ na atmosfera.

De acordo com Humphreys e Mahasanen (2002), 5% das emissões antropogênicas de CO₂ provêm da indústria de cimento, ou seja, a produção de cimento é uma das principais fontes de emissão desses gases de efeito estufa.

Motivado por esse cenário, estão sendo desenvolvidas linhas de pesquisa pautadas na solução desses problemas. Uma delas é o desenvolvimento de concretos capazes de autorreparar essas fissuras sem necessidade de intervenção humana e, por conseguinte, ampliando a vida útil das estruturas. Atualmente essa temática está alcançando grande notoriedade com um considerável crescimento de publicações.

Considerando a relevância do assunto exposto, este artigo tem como objetivo analisar o processo de manutenção e a situação construtiva de um reservatório em uma edificação através da realização de um estudo de caso. Posteriormente, foi feita a correlação entre a técnica de reparo adotada e a preservação da vida útil do reservatório, bem como a aderência às questões sustentáveis.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Reservatórios de concreto armado

Reservatórios são construções que estão diretamente em contato com a água, considerada um solvente universal, por praticamente toda sua vida útil. Este fato merece atenção especial em todo o processo de elaboração de projeto e execução da obra de um reservatório além da necessidade de realizar manutenções periódicas, pois, sua finalidade principal é armazenar essa água de forma efetiva, sem riscos de contaminação e, concomitante a isso, garantir que a estrutura se manterá sem danos físicos que prejudiquem sua estanqueidade (MEDINA, 2016).

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998), a manutenção dos reservatórios domiciliares deve ocorrer periodicamente a fim de assegurar que as tubulações de aviso e extravasão estejam desobstruídas, bem como a verificação do posicionamento das tampas, e assegurar que não há ocorrência de vazamentos ou sinais de deterioração ocasionados por estes. A norma recomenda ainda que as inspeções sejam realizadas ao menos uma vez por ano e que devem também contemplar a limpeza e a desinfecção do reservatório de água potável.

Processos de impermeabilização

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), que normatiza a seleção e o projeto de impermeabilização, o processo de impermeabilização necessita ser desenvolvido de maneira eficaz, evitando a passagem de fluido e vapores nas áreas previstas, garantindo sua estanqueidade. Além disso, destaca a importância de permitir o acesso à impermeabilização para que, caso existam, as falhas sejam rapidamente identificadas, evitando a degradação da estrutura e seus elementos construtivos. No que tange aos procedimentos de execução, a NBR 9574 (ABNT, 2008) regulamenta as exigências e recomendações para garantir que as áreas que requeiram estanqueidade sejam impermeabilizadas de forma correta e forneçam condições de segurança, salubridade, conforto do usuário e principalmente a proteção da estrutura submetida à passagem de fluidos.

Martins (2006) divide em quatro etapas os erros resultantes do processo de impermeabilização: falhas no projeto, na seleção de materiais, na execução desse projeto ou mau uso da estrutura. Decorrente dessas falhas, de acordo com Antonelli (2002), as consequências mais evidentes são as fissuras na estrutura, infiltrações que podem ocorrer em ralos e tubulações, entre outros.

Lei de Sitter

De acordo com o exposto por Helene (1992), a lei de Sitter, também conhecida popularmente como “lei dos 5”, demonstra que os custos de intervenção na estrutura com objetivo de ampliar sua durabilidade e proteção evoluem em progressão geométrica de acordo com a fase em que se encontram. São quatro as etapas ilustradas que correspondem à linha do tempo da construção: projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva.

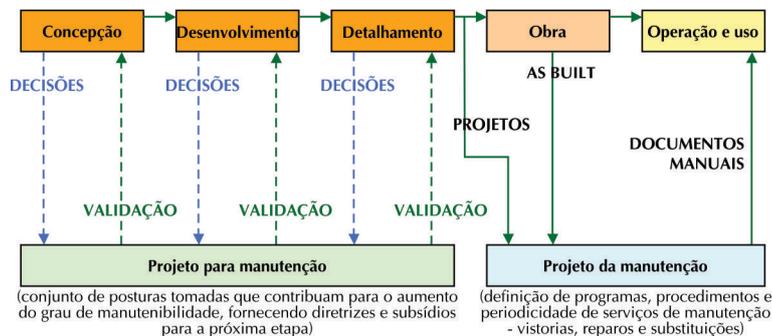
Contudo, é de extrema relevância que as medidas de otimização da estrutura sejam adotadas o mais previamente possível, a fim de tornar mais eficiente sua preservação e reduzir

os impactos financeiros inerentes a essa modificação. No caso dos reservatórios, por exemplo, projetar uma estrutura que atenda às normas regentes bem como a adoção de produtos de qualidade e controles periódicos de acompanhamento e vistoria contribui para que a obra tenha sua funcionalidade preservada e minimiza os riscos de intercorrências de emergência que demandem alto custo de correção (SOUZA; MONTEIRO; BATISTA, 2017).

Projetos para manutenção

Conforme Duston *et al.* (1999), a manutenibilidade de um projeto está diretamente ligada aos aspectos de função, acessibilidade, confiabilidade, facilidade de uso e reparo em todos os componentes desse sistema, resultando em uma melhor relação custo x benefício e prolongando a vida útil da construção. Sanches e Fabricio (2008) afirmam que os conceitos de manutenibilidade e sustentabilidade estão atrelados, de forma que uma manutenibilidade eficaz minimiza a necessidade de operações corretivas e, consequentemente, o impacto ambiental por ela causado. O correto planejamento da etapa de uso, operação e manutenção de um edifício nas etapas iniciais de concepção e projeto da estrutura resulta na economia de recursos a longo prazo e na eficiência das funcionalidades do edifício.

Figura 01 – Processos do Projeto para Manutenção e do Projeto da Manutenção



Fonte: SANCHES; FABRICIO, 2008

As fases que antecipam o uso da edificação são as principais responsáveis pelo correto desempenho e operação das fases seguintes que decorrem durante sua utilização. Evitar a ocorrência de patologias construtiva ou de consumo pode ter um custo infinitamente menor na fase de concepção, entretanto, quando ignorada e adiada, ou até mesmo transferida aos usuários, seu custo pode se tornar muito maior (MELHADO; MESQUITA, 2005).

Segundo Sanches e Fabricio (2008), o projeto para manutenção deve ser concebido de maneira simultânea ao processo do projeto,

que, por conseguinte, possibilita a orientação e diretriz para um Projeto da Manutenção efetivo.

Ainda de acordo com esses autores, o conceito de Projeto para Manutenção reúne uma série de ações a serem tomadas nas diferentes fases de elaboração e execução do empreendimento, com objetivo de fornecer as diretrizes para concepção de um correto Projeto da Manutenção que contemplem manuais a serem seguidos na fase de utilização e que terão sua operação facilitada pelo alto grau de manutenibilidade conferido nas etapas anteriores (SANCHES; FABRICIO, 2008). A Figura 1 expõe a dinâmica de análise e validação para correta elaboração dos processos do Projeto para Manutenção e do Projeto da Manutenção.

Patologias no concreto

Segundo Helene (1992), as patologias no concreto, em sua maioria, apresentam manifestações externas que sinalizam sua natureza e possibilitam uma dedução de sua origem e fenômenos envolvidos, sendo capaz de estimar suas prováveis consequências. A minuciosa observação visual desses problemas pode fornecer o diagnóstico que identifica e caracteriza suas especificidades assim como as medidas necessárias a serem adotadas. As patologias de maior incidência na estrutura do concreto são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem.

Bioconcreto – *self-healing concrete*

Os esforços na busca de materiais alternativos mais sustentáveis do ponto de vista de produção e consumo resultaram em um movimento direcionado a produtos com habilidade de autorreparar seus danos ocasionados por desgastes naturais consequentes do próprio uso. Ghosh (2009) define o termo *self-healing* como a capacidade de um material de se curar, ou seja, reparar seus danos de forma automática e autônoma, sem que haja qualquer intervenção externa.

Segundo Li e Yang (2007), para criar um material com funcionalidade de autocura autógena efetiva, os seguintes seis atributos são considerados particularmente importantes: possuir estabilidade; estar pronto para ativação; ser econômico; ter confiabilidade; garantir uma manutenção da qualidade e assegurar sua repetibilidade.

No Brasil, a divulgação das matérias e conteúdos relacionados ao *self-healing concrete* receberam uma denominação adaptada definida como bioconcreto. Conforme se pode verificar

nos artigos de Portela e Carvalho (2017) e Voronovcz e Vargas (2016).

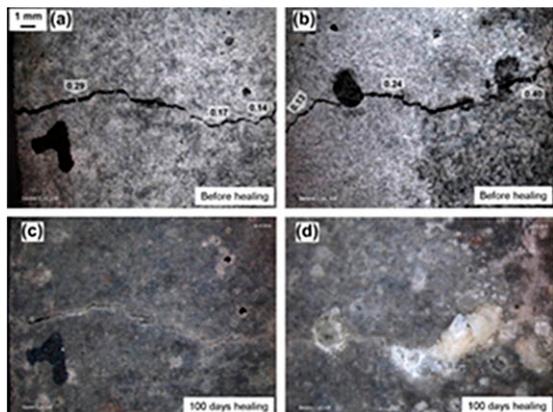
De acordo com o EPO (2015), Escritório de Patentes da Europa, o microbiologista holandês Hendrik Marius Jonkers, da Universidade de Delft, foi finalista do prêmio European Inventor Award 2015 (Inventor Europeu 2015) na categoria Pesquisa. Em entrevista realizada por Damian Arnold, da Revista Ingenia ed. 46 (2011), o Dr. Henk Jonkers descreve como funciona o *self-healing concrete*. Segundo ele, o concreto autocurável é um material capaz de produzir biologicamente calcário para “cicatriz” as fissuras que aparecem na superfície da estrutura do concreto. Essa capacidade de cura é devido à presença de bactérias do gênero *Bacillus* associados a nutrientes à base de cálcio, denominados lactato de cálcio, nitrogênio e fósforo. Esses agentes são adicionados aos ingredientes do concreto quando este está sendo misturado e podem se manter adormecidos no concreto.

Entretanto, a partir do momento em que essa estrutura sofre algum dano, a água percola pelas fissuras do concreto e entra em contato direto com os esporos das bactérias, o que resulta na ativação desses *Bacillus*. A partir disso, as bactérias começam a se alimentar do lactato de cálcio e, à medida que esse processo de alimentação acontece, o oxigênio presente também é consumido. Dessa forma, o lactato de cálcio solúvel é convertido em calcário insolúvel. É então que essa pedra calcária se solidifica e sela a fissura. Jonkers compara o sistema de autocura do concreto ao processo pelo qual o corpo humano recupera as fraturas ósseas por células denominadas osteoblastos (JONKERS, 2011).

A adição desses componentes ao concreto ocorreu através do processo de microencapsulação isolada das bactérias e do composto precursor: o lactato de cálcio, com o objetivo de permanecer inertes até a ocorrência das trincas e fissuras (JONKERS, 2011). No procedimento de preparo do bioconcreto, os esporos bacterianos e os nutrientes à base de lactato de cálcio são introduzidos no concreto em cápsulas separadas de argila expandida de 2-4 mm de largura, o que garante que os agentes não serão ativados durante o processo de mistura do cimento. Somente quando as fissuras se abrem a água que percola interage com as cápsulas e o lactato de cálcio entra em contato com as bactérias, tornando-as ativadas. O consumo de oxigênio durante a conversão bacteriana de lactato de cálcio em calcário tem uma vantagem adicional. O oxigênio é o elemento principal no processo de corrosão do aço e, quando a atividade bacteriana o consome,

umenta a durabilidade das construções de concreto armado de aço (JONKERS, 2011).

Figura 2 – Imagens microscópicas do processo de cicatrização de fissuras na amostra de argamassa de controle antes (a) e após 100 dias de cura (c) e em amostra baseada em agente bioquímico antes (b) e após 100 dias de cura (d)



Fonte: JONKERS; WIKTOR, 2011

Em experimento com objetivo de determinação óptica da capacidade de cura de fissuras realizado por Wiktor e Jonkers (2011), foi possível identificar e comparar dois processos de cura do concreto. A Figura 2 mostra a observação estereomicroscópica direta de rachaduras de amostras de controle e baseadas em bactérias antes e após cem dias de imersão em água da torneira. A largura das rachaduras completamente curadas foi significativamente maior em espécimes baseados em bactérias (0,46 mm) em comparação com espécimes de controle – sem adição do agente bioquímico – (0,18 mm).

Enquanto as rachaduras de todas as seis amostras bacterianas resultaram em nenhuma permeabilidade mensurável, no caso das amostras denominadas de controle, apenas duas das seis apresentaram resultados satisfatórios (JONKERS; WIKTOR, 2011).

Atualmente, conforme informado no *site* da Basilisk, são comercializados três formatos de *self-healing concrete* direcionados a dois segmentos distintos: o primeiro, destinado a novas construções, chamado *Healing Agent*, e o segundo, para ser aplicado no reparo de construções já existentes, disponível em duas versões – *healing Repair Mortar MR3* e *Liquid Repair System ER7*. Esses produtos já estão sendo distribuídos e comercializados em diversos países no mundo, como Alemanha, Japão, Bélgica, Coreia do Sul e Nova Zelândia (BASILIK, 2018).

Panorama de pesquisas no Brasil

Iniciado em 2014 e previsto para ser concluído no segundo semestre deste ano, o projeto

de mapeamento tecnológico do cimento no Brasil chamado *Cement Technology Roadmap Brazil 2050* está sendo desenvolvido pela ABCP, em parceria com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Essa iniciativa tem por objetivo mapear as tecnologias existentes e potenciais que sejam capazes de otimizar os processos e produtos da indústria do cimento, melhorando sua eficiência energética e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (ABCP, 2018a).

No Brasil, estão sendo realizadas pesquisas e experimentos na busca por alternativas mais sustentáveis na composição do concreto. Romildo Dias Toledo Filho é uma das referências no estudo desses materiais não convencionais que utilizam insumos para desenvolver concretos sustentáveis. Nessa linha, um exemplo é seu projeto, ainda em desenvolvimento, intitulado “Materiais Cimentícios Avançados, Inteligentes e Sustentáveis para a Construção Civil”, que tem como objetivo o estudo e o ensino do comportamento mecânico de materiais alternativos sustentáveis capazes de contribuir para a redução das emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global (TOLEDO FILHO, 2018).

Recentemente, parcerias internacionais voltadas para pesquisa e experimento de novos concretos também são desenvolvidas em conjunto com o Brasil. Como exemplo, o projeto interdisciplinar denominado *Superconcrete*, que possui como finalidade o estudo de modelos teóricos para uma nova geração de concretos que viabilize o aperfeiçoamento da indústria da construção no que se refere aos aspectos sustentáveis (SUPERCONCRETE, 2018).

METODOLOGIA

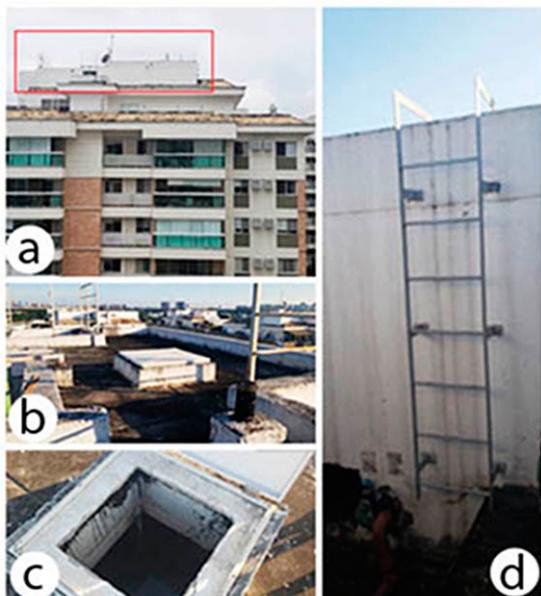
O estudo do reservatório foi realizado através da inspeção visual, coleta de dados e acompanhamento da equipe de manutenção do condomínio. As informações, então, constroem a análise da situação atual do reservatório. As manifestações patológicas foram devidamente registradas e serão exibidas no desenvolvimento do estudo.

ESTUDO DE CASO

O objeto analisado neste estudo é um reservatório superior de água potável construído em concreto armado de dimensões 16 m² e formato retangular, localizado acima da cobertura

ra do bloco 04. Esse reservatório é responsável pelo abastecimento de vinte e quatro apartamentos divididos em seis andares. Os detalhes do reservatório podem ser observados na Figura 3. O empreendimento pode ser considerado relativamente novo, pois, possui seis anos desde a conclusão de sua obra.

Figura 3 – Fotografias do reservatório estudado: a) localização parte superior da unidade; b) tampa de acesso/visita; c) vista da visita do reservatório; d) escada de acesso ao topo do reservatório



Fonte: O autor, 2018

De acordo com o item 6.4 da NBR 6118 (ABNT, 2014), independentemente das variações previstas no dimensionamento das estruturas, a agressividade do meio ambiente ao qual está exposta se relaciona diretamente com as ações físicas e químicas que incidem sobre essa estrutura. Para tal, a norma indica a tabela 6.1 que, de maneira simplificada, indica o grau de agressividade ao qual a estrutura está exposta conforme sua localização.

O condomínio fica situado no bairro da Barra da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro. Por se encontrar numa região urbana próxima ao mar, a agressividade ambiental é definida como grau 3, ou seja, agressividade forte, a estrutura do reservatório possui grande risco de deterioração.

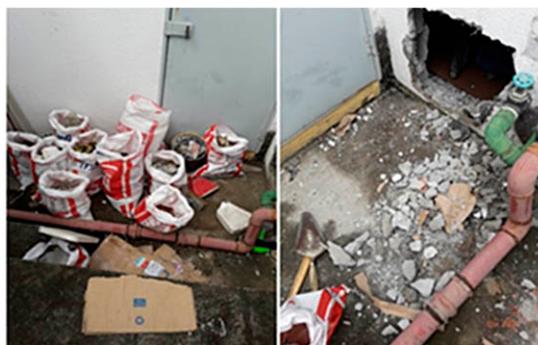
Desenvolvimento dos trabalhos em manutenção

O reservatório estudado possuía apenas acesso superior, através de uma escada fixada em sua parede lateral, para a tampa de visita que permitia verificações do nível e condições da água. A princípio não havia nenhum problema relacionado a isso. No entanto, o morador da cobertura entrou em contato com a equipe

responsável para comunicar a ocorrência de infiltrações e mofo no teto de seu apartamento.

As manchas do teto já indicavam a origem do problema, pois estavam localizadas exatamente abaixo de onde está o reservatório. Como não havia acesso ao fundo do reservatório, a equipe responsável teve de quebrar parte da parede para criar uma abertura e identificar o problema. Esse acesso improvisado pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Abertura improvisada para acesso ao fundo do reservatório



Fonte: O autor, 2018

Após abertura da passagem, foi possível identificar que a laje estava com água empoçada e bolor em diversos pontos. Devido a essa concentração em um concreto que não estava corretamente impermeabilizado, a água penetrou no material e percolou pelos capilares, provocando as manchas no teto. Todavia, o principal questionamento é a origem da água que ocasionou o acúmulo, que se descobriu ser proveniente de fissuras e infiltrações abundantes no fundo do reservatório.

As patologias que assolam esse reservatório somente puderam ser identificadas após a abertura de um buraco na parede. Isso já sugere uma combinação de falhas na preservação dessa estrutura, em primeiro lugar, porque não possuía um reservatório extra ou uma seção independente, de modo que a sua manutenção não estava sendo realizada, ou seja, os riscos de eventuais patologias já estavam sendo assumidos desde então. Além desse fator, estão a inexistência de acesso ao fundo do reservatório bem como as condições das tubulações. Sendo assim, os sinais que a estrutura evidencia quando algo está errado foram ignorados por bastante tempo, afinal, não era possível observá-los.

A normatização dos procedimentos de manutenção dos reservatórios é regida pela NBR 5626 (ABNT, 1998), conforme já citado anteriormente. Nesse caso, a ausência da realização pe-

riódica de manutenções preventivas está ligada não só aos problemas observados, mas pode também ter comprometido a potabilidade da água que abastece os apartamentos do bloco.

Patologias identificadas

INFILTRAÇÃO E UMIDADE

Consequências: bolor, acúmulo de água e eflorescências

A partir da Figura 5, constata-se que, em consequência das infiltrações e umidade delas proveniente, surgem pontos de proliferação de bolor, eflorescência e acúmulo de água. É possível perceber que existe uma colonização de fungos que causam esse aspecto esverdeado de limo nas imediações. Além disso, nota-se a eflorescência que se forma na superfície do concreto. Esse fenômeno se dá devido à umidade do ambiente, que dissolve os sais de cálcio presentes no concreto, e através da capilaridade migram para a superfície. Em seguida, reagem com o CO₂ e evaporam, restando apenas as manchas esbranquiçadas do carbonato de cálcio.

Figura 5 – Bolor e eflorescência



Fonte: O autor, 2018

Casos de infiltração como o identificado neste reservatório ocorrem, por exemplo, quando há um quadro de fissuração pré-existente. Através dessas fissuras, a água irá percolar, podendo se acumular e atingir outras estruturas anexas ou formar estalactites em pontos em que a água chega a gotejar por entre as fissuras. Além dos problemas identificados acima, de acordo com Perez (1988), a água que infiltra na estrutura pode atuar como canal para permitir que o concreto seja atingido por substâncias corrosivas, como sais lesivos que ocasionam sua deterioração.

FISSURAS

Consequências: formação de estalactites

De acordo com Carmona Filho e Carmona (2013), na área da patologia, o dano que ocorre com maior frequência nas estruturas de concreto é a fissuração, que é resultante das mais distintas causas. No que se refere ao reservatório analisado, pode-se inferir que a ausência de manutenção periódica, bem como a impermeabilização falha resultaram na formação destas fissuras que estão amplamente distribuídas por todo o fundo do reservatório, conforme pode ser visto na Figura 6. Estruturas em contato diretamente com a água exigem que a execução do processo de impermeabilização seja eficaz.

A partir da Figura 6, nota-se que o reservatório possui uma intensa formação de estalactites que ocupam praticamente todo o fundo do reservatório. De acordo com Borges (2008), as estalactites são ocasionadas pelo gotejamento intermitente de água e a deposição de sais. O gotejamento constante de água possibilita a migração de sais que se solidificam e, devido à ação da gravidade, assumem forma semelhante a agulhas.

Figura 6 – Fissuras e infiltrações no fundo do reservatório



Fonte: O autor, 2018

Com base nesses sintomas conclui-se que o reservatório possui um grande volume de fissuras que ocasionam a perda da água armazenada e, principalmente, o comprometimento da estrutura, uma vez que a presença dessa água aos poucos deteriora o concreto e também corrói a armadura.

Essas fissuras são claros sinais de que a estrutura está sofrendo prejuízo e que provavelmente terá redução de sua vida útil. Isso contraria os itens 5.1.2.2 e 5.1.2.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), que abordam a capacidade de a estrutura manter-se em pleno desempenho em serviço e de preservar sua durabilidade resistindo as influências ambientais previstas e definidas. Embora não tenha sido possível identificar visualmente a corrosão da armadura do reservatório, é grande a probabilidade de esse evento ocorrer e agravar ainda mais a situação da estrutura, uma vez que a água está infiltrando nesse concreto de uma extremidade à outra, o que sugere que a armadura que preenche esse concreto também está em contato com a água.

Processos de reparo

Não foi possível realizar o reparo no reservatório por uma evidente problemática: não existe um reservatório ou caixa d'água reserva, ou seja, esvaziar esse reservatório para fazer o conserto implica transtornos para todos os moradores do bloco, que ficariam sem água durante dias até todo o processo de esvaziamento, recuperação e secagem.

Em seu item 5.2.5.3, a NBR 5626 (ABNT, 1998) já menciona a necessidade de que os reservatórios de maior capacidade sejam divididos em dois ou mais compartimentos justamente para permitir que as manutenções sejam realizadas sem a necessidade de interrupção da distribuição de água. Entretanto, nesse aspecto, esse reservatório não atende ao item da norma.

Em contrapartida, a necessidade de “resolver” o problema de infiltração da cobertura não poderia ser adiada, pois os prejuízos e danos se tornariam ainda maiores. Ciente do cenário conflituoso, a solução prévia adotada foi realizar a impermeabilização da laje abaixo do fundo do reservatório, que é também o teto da cobertura, a qual estava com os sinais de infiltração e mofo.

O restauro foi executado em difícil condição de acesso, movimentação de material e pessoal, pois os operários tiveram de trabalhar em um espaço confinado. A altura entre a laje do apartamento de cobertura e o fundo do reservatório era de apenas 60 cm, ou seja, os funcionários tiveram de trabalhar deitados num ambiente úmido e sujo. As únicas fontes de luz eram as lanternas e a iluminação do sol o que tornou o serviço exaustivo numa condição extrema.

A NBR 16577 (2017) classifica como espaço confinado áreas não projetadas para ocupação humana contínua, que possuem condições limitadas de acesso e de saída, cuja ventilação é ruim ou inexistente. A Figura 7 retrata bem as condições desfavoráveis dos funcionários para realizar o serviço nesse ambiente.

Figura 7 – Dificuldade de acesso para os funcionários



Fonte: O autor, 2018

Embora o serviço tenha sido realizado, nenhuma das patologias do reservatório foi sanada, ou seja, a medida adotada foi apenas paliativa e os problemas continuam existindo. Futuramente, poderão voltar a desencadear transtornos e custos que impactam a vida de todos os envolvidos. A gravidade da patologia está diretamente relacionada com o tempo em adotar uma terapia eficiente que seja capaz de sanar o problema e evitar sua recorrência. Conforme ilustrado na Lei de Sitter, os custos de reparo evoluem em uma progressão geométrica em função da fase de intervenção para solucionar possíveis danos.

Após três semanas da finalização do serviço em nova visita, foi possível identificar que, embora impermeabilizada, a laje continua acumulando bolor e água, que mina das fissuras existentes no fundo do reservatório. As patologias do reservatório continuam existindo e não é possível ignorar que complicações oriundas dessas falhas provavelmente irão impactar a vida de todos os envolvidos. Além disso, a água, um recurso essencial, continua a ser desperdiçada e a umidade presente está contribuindo para transformar o ambiente em um lugar convidativo à proliferação de mosquitos, ratos e baratas, agentes que representam impactos adicionais, sendo esses potencialmente nocivos à saúde humana. Além disso, como a manutenção periódica não está sendo realizada corretamente, existe o risco de a potabilidade da água estar afetada.

O estudo de caso apresentado é o reflexo do que acontece em muitos empreendimentos todos os dias. Conforme verificado na literatura, problemas relacionados a patologias em concreto são recorrentes, principalmente nos casos em que está diretamente em contato com a água ou umidade. Algumas vezes os reparos podem ser realizados sem grandes dificuldades, em outras, como o caso relatado, não. O fato é que, qualquer que seja a recuperação, existem custos e esforços envolvidos que não foram previamente planejados.

Este artigo propôs a realização de uma análise da ocorrência de fissuras do concreto nos reservatórios de água e os reparos necessários aplicados atualmente, bem como as variáveis envolvidas no processo. Com base no levantamento realizado, pode-se deduzir que o concreto continuará por longos períodos sendo insumo principal das edificações e seus componentes, principalmente no Brasil, que tão fortemente tem suas construções fundamentadas na alvenaria, conforme afirma a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2018b) o Brasil é referência mundial em alvenaria estrutural.

Nesse caso, devido à cultura e à aceitação comercial, o concreto continuará atuando como protagonista na engenharia civil brasileira. A flexibilidade conferida pelo concreto permite que as construções dos reservatórios sejam projetadas “sob medida” com as dimensões e formatos mais bem adaptados a cada obra, o que é uma vantagem indiscutível quando se compara a outras possibilidades existentes no mercado. Soma-se a isso a variável custo, pois, sendo uma técnica bem difundida e dominada no setor, obtêm-se valores competitivos e uma pluralidade de fornecedores.

Entretanto, quase como a ideia de um “pacote”, as patologias também se fazem fortemente presentes. Conforme levantado neste estudo, a umidade e a água são fatores colaborantes na deterioração do concreto, o que requer que projetos como o caso dos reservatórios exijam cuidados especiais em todas as suas fases, que englobam a elaboração do projeto, a seleção de materiais de qualidade, sua correta execução e, principalmente, a manutenção.

Sendo assim, se faz necessário definir quais caminhos e ações a serem tomados para que as patologias dos reservatórios sejam sanadas ou, num cenário ainda mais favorável, nem ocorram, garantindo a sua durabilidade e a preservação de sua vida útil e, por conseguinte, alocando os recursos disponíveis de forma mais produtiva.

Conforme definido pela NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade de uma estrutura de concreto consiste em sua capacidade de resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante desde o início da elaboração do projeto. Com objetivo de preservar a vida útil da estrutura de concreto, medidas preventivas e corretivas devem ser adotadas de maneira rápida e eficaz, a fim de evitar maiores prejuízos e o desperdício de água. Estar atento a inovações de processos e produtos resultantes de evoluções tecnológicas é uma alternativa que aponta novas direções e pode ser mais eficiente.

Os transtornos e prejuízos decorrentes dessas alterações não previstas, somados a crescente conscientização sustentável de consumo de bens e serviços, têm conduzido esforços na busca por soluções ecologicamente corretas que ampliam a durabilidade do produto e, dessa forma, minimizam os impactos inclusive de emissão de CO₂ na atmosfera.

A forte tendência à conscientização sustentável tem movido o comportamento de compra e consumo, agregando maior valor as escolhas

que beneficiam o meio ambiente e a sociedade e minimizam os impactos ambientais. A indústria, por sua vez, tem sentido a necessidade de desenvolver soluções adequadas com objetivo de absorver essa demanda cada vez mais interessada não só no produto final, mas também em toda sua cadeia produtiva e nos efeitos decorrentes de sua aplicação.

Os processos industriais são responsáveis pelo consumo de insumos naturais, bem como um dos principais responsáveis pela emissão de CO₂ na atmosfera, conforme já relatado neste artigo. O processo industrial dos produtos utilizados nos reparos das patologias dos reservatórios, como os impermeabilizantes, não foge a essa regra. A extração do insumo, o consumo de energia, o processo de transformação, a embalagem, o transporte, entre outros, são eventos que, de alguma forma, causam prejuízos do ponto de vista sustentável à sociedade.

Na investigação de soluções que minimizem esses impactos, uma das grandes vertentes é a pesquisa e o desenvolvimento de materiais denominados *self-healing*, que possuem a capacidade de autocura sem a necessidade de intervenções humanas.

Embora sua introdução comercial esteja em fase de implementação e prováveis adequações ainda ocorram, o bioconcreto, denominado *self-healing concrete*, pode ser sugerido como uma opção mais vantajosa do ponto de vista prático e sustentável se comparado ao concreto padrão para construção de reservatórios de água, reduzindo para próximo de zero a necessidade de manutenção em decorrência de fissuras. Entretanto, mesmo considerando todos os benefícios acerca da implementação do *self-healing concrete*, ainda existem barreiras a serem superadas para que esse produto seja comercialmente utilizado em larga escala no Brasil.

Como primeiro ponto, é fundamental destacar os aspectos relacionados ao custo inicial do investimento, que hoje é praticamente o dobro, conforme informado pela EPO (2015). Como grande parte das inovações, a implementação introdutória no mercado resulta num produto final de alto valor monetário, que vai se ajustando até ser comercializado e consumido em larga escala. Dessa forma, ainda existe o fator tempo envolvido para que seja possível tornar o preço desse bioconcreto mais atrativo ao consumo.

Como segundo ponto, é importante destacar que, mesmo que já seja distribuído em vários países, no Brasil ainda não existem distribuidores da Basilisk Concrete, nem mesmo normas

regulamentadoras para sua aplicação. Contudo, essa adesão não deverá tardar a acontecer, tendo em vista que, num mundo cada vez mais globalizado, não é possível ficar inerte perante as tendências mundiais.

Embora os materiais com capacidade de autocura ainda não estejam disponíveis no mercado brasileiro, as pesquisas experimentais com objetivo de desenvolver um concreto capaz de reparar suas fissuras de forma autógena e que preserve seu desempenho mecânico estão alcançando grande notoriedade. Em experimento realizado por Ferrara *et al.* (2014), para a análise da contribuição das fibras naturais na capacidade de autocura, foram adicionados ao composto cimentício uma combinação de fibras de aço e sisal. Nesse processo, a capacidade hidrofílica da fibra natural atua como um caminho de umidade para ativar a hidratação retardada do concreto. As fibras absorvem a água e liberam a umidade, que contribui para ativar o cimento não hidratado e selar as fissuras, além de contribuir para a recuperação das propriedades mecânicas da estrutura. Ainda que preliminares, os resultados desses estudos já evidenciam que o concreto autocurável é uma realidade que não tardará a ser inserida no mercado.

Aplicado numa perspectiva de longo prazo, o bioconcreto possui grande potencial para assumir uma posição de destaque no que tange ao uso em obras específicas. Por exemplo, nos casos em que a frequência das patologias resulte em riscos à estrutura e transtornos recorrentes com alto volume de gastos de manutenção, necessidade de trabalho em ambiente insalubre ou inacessível e impacto no fluxo de vida da sociedade, que, de alguma forma, depende do acesso a esse local ou uso deste.

As dificuldades relatadas no estudo de caso, desde a necessidade de abertura improvisada na parede para acessar o fundo do reservatório, à precariedade de conservação do espaço e à condição de trabalho em um espaço onde os funcionários só conseguiam permanecer deitados são fortes evidências dos percalços e transtornos resultantes da ausência de um correto projeto para a manutenção. A acessibilidade, o controle e até mesmo as patologias poderiam ser abordadas de forma contundente nas etapas iniciais de concepção do condomínio, o que pouparia esforços e custos desnecessários para solucionar os problemas no período de utilização, afinal, esta é a etapa mais longa de todo o ciclo da estrutura. No entanto, em alguns casos, como o apresentado, tem sua relevância minimizada como algo que pode ser postergado

e repassado aos usuários. Esse comportamento precisa evoluir, pois, além de necessário, o projeto para manutenção resulta em benefícios para todos os envolvidos.

Em casos inseridos no contexto acima relatado, o maior investimento inicial é justificado e superado pela eliminação das conseqüentes demandas que ocorrerão em razão das fissuras no concreto. Além disso, no experimento realizado por Jonkers, não houve nenhuma falha na impermeabilização dessas trincas e fissuras, o que sugere que seja uma escolha eficaz para manter as propriedades da estrutura e prolonga sua vida útil. Minimizada a necessidade de realização desses reparos e manutenções, os recursos tempo e capital disponíveis poderão ser destinados a novos projetos.

CONCLUSÃO

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de que o projeto para a manutenção precisa ser considerado ainda na fase inicial e deve ser aprimorado e desenvolvido paralelamente à evolução da estrutura, permitindo uma visão holística dos processos. Assim será possível realizar as adequações necessárias previamente, otimizando os recursos que resultarão em uma melhor operação a longo prazo, bem como a preservação da vida útil da estrutura.

Os reservatórios são de grande relevância no correto funcionamento do condomínio, pois regulam e distribuem a água para todos os apartamentos, ou seja, qualquer problema decorrente de falhas nessa estrutura compromete a rotina de muitas pessoas, uma vez que, envolve o acesso à água, tão necessário às atividades do dia a dia. A correta elaboração de um plano para manutenção e, logicamente, a execução regular das atividades propostas agregam benefícios que podem parecer até de pouca importância e baixo impacto quando se foca apenas na entrega e finalização da construção. No entanto, basta ocorrer uma patologia na fase de uso que se torna evidente a discrepância entre os custos e transtornos de um reparo corretivo frente à manutenção preventiva. O comportamento reativo sempre será mais custoso ao preventivo. Esse é o fator que deve mover os impulsos para a adoção de medidas que favoreçam e facilitem o plano de manutenção periódica.

Além da adoção do plano acima elucidado, é importante estar atento às pesquisas desenvolvidas e soluções inovadoras. São essas

iniciativas científicas que transformam para melhor a vida das pessoas, e esse também é o propósito da engenharia civil.

Conforme relatado neste estudo, técnicas de aperfeiçoamento do concreto estão sendo desenvolvidas dentro e fora do país. O movimento no sentido de aprimorar as qualidades do material e adicionar componentes que possibilitem a autocura de fissuras é uma realidade. No Brasil, esses materiais ainda estão em fase de pesquisa e experimentação em laboratório, porém, como o país também caminha junto à tendência mundial, é grande a probabilidade de esses produtos similares ao *self-healing concrete* serem introduzidos no mercado brasileiro em alguns anos.

A incorporação do concreto com capacidade de autocura em projetos específicos, como o caso dos reservatórios, poderá transformar a indústria da construção civil. Os benefícios são muitos, conforme já discutido, principalmente no que tange à possibilidade de reparo sem necessidade de intervenção humana e a contribuição sustentável, já que não há necessidade de aplicação de produtos industrializados para realizar serviços de correção.

A sugestão acima apontada ainda requer maior aporte de pesquisa e desenvolvimento, além de conhecimento e aplicação prática, porém, é um caminho propulsor e de potencial sucesso que possui grande possibilidade de solucionar as questões patológicas de reservatórios de água apresentadas neste estudo.

Contudo, preservar as boas práticas de execução aderente às normas, bem como a correta seleção de materiais e realização de manutenções periódicas são atualmente as melhores soluções possíveis a serem aplicadas nos reservatórios das edificações brasileiras. No entanto, as pesquisas acerca dos concretos com capacidade de autocura devem continuar, a fim de que, num futuro próximo, o mercado de engenharia civil atue extraindo o máximo da potencialidade dos materiais aplicados e desenvolvendo projetos que compatibilizem custos, desempenho e sustentabilidade de forma a otimizar os processos e garantir que os usuários conseguirão extrair dos empreendimentos a melhor experiência de utilização e convivência.

REFERÊNCIAS

- ABCP. Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto. Sustentabilidade. Ago. 2013. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>. Acesso em: 6 jul. 2017.
- ABCP. Mudanças Climáticas e Meio Ambiente. Banco de Pautas. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-de-pautas/brasil-e-referencia-mundial-em-alvenaria-estrutural/>. Acesso em: 15 out. 2018a.
- ABCP. Brasil é referência mundial em alvenaria estrutural. Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/sustentabilidade/meio-ambiente/sustentabilidade-meio-ambiente>. Acesso em: 29 out. 2018b.
- ANTONELLI, G.R.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Levantamento das manifestações patológicas de lajes impermeabilizadas em edifícios habitados de Goiânia-GO. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., *Anais [...]*, Foz do Iguaçu/PR, 2002.
- ARNOLD, Damian. Self-Healing Concrete. *Ingenia*: Online, Londres, v. 46, n. 0, p.1-1, mar. 2011. Disponível em: <http://www.ingenia.org.uk/Ingenia/Articles/654>. Acesso em: 26 out. 2017.
- ABNT. *NBR 5674*: Manutenção de edificações: Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.
- ABNT. *NBR 5626*: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.
- ABNT. *NBR 6118*: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT. *NBR 9574*: Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT. *NBR 9575*: Impermeabilização: seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT. *NBR 16577*: Espaço confinado: prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção. Rio de Janeiro, 2017.
- BASILISK. *Self-Healing Concrete*. Producten. Disponível em: <http://www.basiliskconcrete.com/producten/>. Acesso em: 18 maio 2018.
- BORGES, M. G. *Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado*. 2008. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.
- CARMONA FILHO, Antonio; CARMONA, Thomas. *Boletim Técnico*: fissuração nas estruturas de concreto. Marida, México: Alconpat Internacional, 2013.

EPO. European Patent Office. *European Inventor Award*. The Finalist 2015, nov. 2015. Disponível em: <https://www.epo.org/learning-events/european-inventor/finalists/2015/jonkers.html>. Acesso em: 20 out. 2018.

FERRARA, Liberato *et al.* *Effect of Natural Fibres on the Self-Healing Capacity of High Performance Fibre Reinforced Cementitious*. SHCC 3rd International RILEM Conference on Strain: Hardening Cementitious Composites. Dordrecht, Holanda, 2014.

GHOSH, Swapan Kumar. *Self-Healing Materials: Fundamentals, Design Strategies and Applications*. Weinheim: Wiley Vch, 2009.

HELENE, Paulo R. L. *Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

HELENE, Paulo R. L. *Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto*. São Paulo: Pini, 1997.

HUMPHREYS, Ken; MAHASANAN, Maha. *Toward a sustainable cement industry*. Climate Change. Battelle – The Business of Innovation, mar. 2002.

JONKERS, Henk M.; WIKTOR, Virginie. Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 33., p. 763-770, ago. 2011.

JONKERS, H. M. Bacteria-based self-healing concrete. University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Materials and Environment – Microlab, Delft, the Netherlands. *Heron*, v. 56, n. 1, 2, Delf, Holanda, 2011.

LI, V. C.; YANG, E. H. Self-Healing in Concrete Materials. In: VAN DER ZWAAG, S. (ed.) *Self-Healing Materials*. Springer Series in Materials Science, v. 100. Springer, Dordrecht, 2007.

MARTINS, J.G. *Impermeabilizações: condições técnicas de execução*. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2006.

MEDINA, Tatiana. Manutenção de reservatórios de água. In: Encontro de Manutenções dos Países Integrantes da CPLP, 4., Angola, 2016.

MELHADO, S. B.; MESQUITA, M. J. M. *Gestão do ciclo de vida do empreendimento: estratégias para eficiência e eficácia com base na interface Operação – Concepção*. In: SIBRAGEC – Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 4., Porto Alegre, 2005.

PORTELA, Felipe C. S.; CARVALHO, Victor P. de. Bioconcreto: a tecnologia para construção sustentável. *Inovae*, v. 5, n. 2, São Paulo, 2017.

PEREZ, A. R. *Manutenção dos edifícios*. Tecnologia das Edificações. São Paulo: Pini, 1988.

SANCHES, Iara D.; FABRICIO, Márcio M. Projeto para manutenção. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 8., São Paulo, 2008.

SOUZA, Alexandre; MONTEIRO, Eliana; BATISTA, Tarciana. Manifestações patológicas encontradas em reservatórios de água de edifício residencial. In: COMPAR – Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas, Recife, ago. 2017.

SUPERCONCRETE. *Sustainability-driven international/intersectoral Partnership for Education and Research on modelling next generation CONCRETE*. Università Degli Studi di Salerno. Disponível em: <http://www.superconcrete-h2020.unisa.it/>. Acesso em: 31 out. 2018.

TOLEDO FILHO, R. *Currículo Lattes*. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/8449916971915629>. Acesso em: 29 nov. 2018.

THOMAZ, Ércio. *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. São Paulo: Pini, 2015.

VORONOVZ, Eliton; VARGAS, Jaqueline J. de. O bioconcreto como solução para fissuras, trincas e rachaduras. In: CONCCEPAR, 7., Anais [...], Campo Mourão, PR, 2016.

DADOS DOS AUTORES

Aline Cordeiro Pinheiro (alinecordeiop@gmail.com). Graduada em Engenharia Civil, Pesquisadora, Universidade Veiga de Almeida, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Thiago Thielmann de Araújo (thiago.araujo@uva.br). Mestre em Gestão do Ambiente Construído, Pesquisador, Universidade Veiga de Almeida, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS QUE GARANTEM A EFICÁCIA DA COMPOSTAGEM DE BOVINOS

Jéssica Motta Carvalho

Juliana Muhammad Ferreira

Mabelle Biancardi Oliveira de Medeiros

Marcelo Henrique Otênio

Vanessa Romário de Paula

RESUMO: O descarte feito de forma irregular de animais de grande porte causa poluição ambiental. Produtores rurais buscam uma saída realizando a compostagem de bovinos, com o intuito de agregar valor ao composto formado, podendo ser utilizado como fertilizante orgânico. O trabalho desenvolvido teve como objetivo garantir a eficácia da compostagem durante 90 dias através de análises físico-químicas dos parâmetros de umidade, temperatura, pH e observações visuais de pragas indesejáveis. Para esse experimento, cinco animais bovinos da raça girolando foram eutanasiados e compostados em leiras feitas de bambu picado. Durante os 90 dias, não houve presença de insetos indesejáveis e odor desprezível. Nas primeiras semanas, a temperatura chegou a 70 °C, o que garante a morte de microrganismos patógenos. Assim, a compostagem se mostrou eficaz, podendo ser utilizada como fertilizante orgânico.

Palavras-chave: Análise de pH. Umidade. Temperatura. Bambu picado.

ABSTRACT: The irregularly made discard of large animals cause environmental pollution, rural producers are seeking for an alternative way of doing the composting of cattle, with the objective of adding value to the compost that can be used as an organic fertilizer. The work developed had the objective of assure the efficiency of composting for 90 days by physical-chemical analysis of moisture, temperature, pH, and visual observations of undesirable plagues. For this experiment five bovine animals of the girolando race was euthanized and composted in lines made of chopped bamboo. During the 90 days, there was no presence of undesirable bugs and negligible odor, in the first weeks the temperature reached 70 °C, what assured the death of pathogenic microorganisms. Thereby, the composting has shown itself effective, also being able to be used as an organic fertilizer.

Keywords: pH analysis. Moisture. Temperature. Chopped bamboo.

INTRODUÇÃO

Estudos mostram que a poluição ambiental, na maioria das vezes, vem do descarte feito de forma inadequada e irregular de cadáveres de animais de grande porte. A inexistência de uma legislação específica sobre isso pode trazer consequências aos produtores rurais, pois a decomposição desses animais em pastagens complementa o quadro favorável à ocorrência de intoxicação, ao risco à saúde de outros animais e contribui para a contaminação ambiental por microrganismos potencialmente patogênicos (CURCI, 2007).

A compostagem é uma alternativa para produtores rurais com o intuito de agregar valor ao composto formado, que pode ser utilizado como adubo orgânico em novos cultivos de plantas. Além disso, a compostagem também é uma questão de eficiência ecológica, pois, de acordo com Tavares (2009), acarreta a diminuição de lixo que é enviado diretamente para os aterros sanitários, o qual libera metano, efluentes poluentes ao solo e atrai vetores de doenças. Dessa forma, também diminui os riscos à saúde pública.

Para uma compostagem ser feita de forma eficiente, é de extrema importância que atinja o parâmetro desejado em todas as suas fases. O funcionamento se dá em duas fases: primeiramente, por decomposição aeróbia e, depois, anaeróbia, conforme a disponibilidade de oxigênio. Na fase aeróbia, ocorre a decomposição dos substratos orgânicos na presença de oxigênio por microrganismos termofílicos, produzindo principalmente CO_2 , H_2O e energia. Já na fase anaeróbia, acontece a decomposição dos substratos orgânicos na ausência de oxigênio. É subdividida em liquefação da matéria orgânica produzindo cetonas e álcoois, gaseificação liberando gases tóxicos como metano e dióxido de carbono e, por fim, ocorre a estabilização da matéria orgânica, onde o material está pronto para ser usado livre de patógenos (KIEHL, 2004; PEREIRA NETO, 1996; WITTER; LOREZ-REAL, 1987).

Assim, quando se busca a compostagem como tratamento de resíduos orgânicos, a fase aeróbia é de maior importância, de forma que se deve procurar oferecer um ambiente com disponibilidade de oxigênio para que os microrganismos se desenvolvam e, conseqüentemente, haja a diminuição da emissão de odores e de gases causadores do efeito estufa, como o metano e o óxido nitroso. Somado a isso, apresenta-se o fato de que a presença de oxigênio na massa, que não ocorre na compostagem anaeróbia, faz com que ocorra uma decomposição mais rápida da matéria orgânica. Dessa forma, Costa (2005) afirma que a

intensificação dos revolvimentos nas leiras para a entrada de O_2 diminui o tempo de compostagem.

Sabendo de suas condições ideais para um uso eficaz do composto formado, os principais fatores que governam a compostagem são: umidade, aeração, temperatura, relação entre carbono e nitrogênio, granulometria das leiras e o seu potencial hidrogeniônico (KIEHL, 1985).

Para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas, bem como os seus efeitos no crescimento microbiológico, é utilizado o índice de relação C/N. Esse é um fator de extrema importância para realização da compostagem, visto que a atividade dos microrganismos heterotróficos, envolvidos no processo, depende tanto do conteúdo de C para fonte de energia, quanto de N para síntese de proteínas (SHARMA *et al.*, 1997). Dessa forma, através da determinação da relação C/N, pode ser realizado o balanço de nutrientes no substrato e avaliação da qualidade do composto final (MORREL, 1985). Durante o processo de compostagem, verifica-se uma redução da relação C/N em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam CO_2 através da sua respiração (ZHANG; HE, 2006), diminuindo assim a concentração de C.

A umidade na compostagem é importante para o processo de decomposição, pois ela é um indicativo de fermentação. O valor ideal para compostagem está entre 50% a 60%. De acordo com Tavares (2009), abaixo desse valor a decomposição da matéria orgânica é reduzida, podendo não chegar até a fase final e impedindo a fermentação. Com valores superiores a 60% ocorre expulsão de oxigênio, produzindo maus odores, lixiviação de nutrientes e presença de moscas. Já a Embrapa (2004) diz que os limites de decomposição estão entre 30% a 70%, podendo ser considerado o mínimo de 40%.

Em excesso, a umidade atrapalha o processo de compostagem, já que causa a redução da penetração de oxigênio na leira. Isso se deve à característica hidrofílica da matéria orgânica decomposta, as moléculas de água se aderem fortemente à superfície das partículas, saturando os seus micro e macroporos (ECO-CHEM, 2004), afetando as propriedades físicas e químicas do composto (TIQUIA *et al.*, 1998). Também interfere de forma indireta na temperatura do processo, como uma consequência da atividade metabólica dos microrganismos, que ocorre na fase aquosa.

A aeração também se trata de um processo de fermentação, onde a presença do ar na massa em decomposição é indispensável. Favorece a oxigenação, secagem e diminuição do volume

do material a ser compostado. Na segunda fase, a aeração promove o aumento da temperatura (PEREIRA NETO, 1994). Se houver fermentação na ausência de oxigênio, haverá perda de nitrogênio, odores desagradáveis e presença de insetos (OLIVEIRA; LIMA; CAJAZEIRA, 2004). O aquecimento e o arrefecimento do material compostado fornecem informações sobre sua atividade biológica e seu grau de decomposição, o aumento da temperatura ocasiona a desnaturação da proteína, perdas de nitrogênio além de interferir nas atividades dos patógenos. Stentiford *et al.* (1996) sugeriram que temperaturas entre 35°C e 40°C maximizam a diversidade microbiana, pois a compostagem pode chegar até 70°C, garantindo a mortalidade de bactérias termófilas. *Salmonella sp.* e *Escherichia coli* podem ser destruídas em 15 a 20 minutos quando expostas a 60°C ou durante uma hora a 55°C, podendo-se, assim, eliminar todos os microrganismos patogênicos e as sementes de viáveis de infestantes (TCHOBANOGLAUS; THEISEN; VIGIL, 1993). A nitrificação, desnitrificação e a produção e emissão de N₂O são suprimidos, pois as bactérias autotróficas nitrificantes não resistem a temperaturas acima de 40°C e desaparecem (MYER, 1995).

O arejamento pode aumentar a emissão de NH₃, de acordo com Raviv *et al.* (2004), que concluíram que a maioria das perdas de N era causada pela volatilização de NH₃. Outras principais perdas de N são as trocas gasosas com o exterior, baixa razão entre C/N, elevado pH e temperatura.

O pH não é um fator crítico no processo de compostagem, ele apenas indica em que estágio o material composto se encontra dentro do processo (JIMENEZ; GARCIA, 1989). Ele afeta diretamente os microrganismos em seu metabolismo e desenvolvimento. O pH no início do processo é ácido, em torno de 5,0, devido à formação de ácidos orgânicos ou acúmulo de ácidos intermediários, indicando também a falta de maturação no interior da pilha. Após certo período, ele se eleva, e à medida que os ácidos se metabolizam tende a ficar alcalino, entre 7,5 a 9,0, o que indica ser o fim da compostagem (TAVARES, 2009).

Na fase inicial, além da formação de ácidos orgânicos, também ocorre a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano, o que torna o meio mais ácido em relação ao inicial. É caracterizada pela intensa atividade de microrganismos mesófilos, que elevam a temperatura da massa em compostagem à aproximadamente 40-45°C e liberam também carbono orgânico na forma de CO₂ para a atmosfera (TUOMELA; VIKMAN; HATAKKA, 2000). Ocorre também a reação dos ácidos orgânicos e dos traços de ácidos minerais com as bases liberadas da

matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina e finalizando o tempo de compostagem.

Para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem, a faixa de pH ótima se situa entre 5,5 e 8,5, pois dentro desses limites a maioria das enzimas se encontra ativa (RODRIGUES *et al.*, 2006).

O material para compor as leiras deve possuir uma granulometria baixa, sendo, portanto, moído e peneirado de forma que fique fino e com maior homogeneidade. Assim, serão formados montes com melhor distribuição de temperatura e menos perda de calor (NOGUEIRA; COSTA, 2011). Considerando que a intensidade da decomposição da matéria orgânica por processo microbiológico é proporcional à superfície de contato do material a ser compostado, concluímos que, quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição. O bambu moído tem sido utilizado em compostagens por possuir boas características, como propriedades antibacterianas, distribuição homogênea e pesada com fácil aeração e temperaturas amenas (FERNANDES; SILVA, 1999; KIEHL, 1985; KEENER; DAS, 1996).

O dimensionamento das leiras também é um fator de relevância, de forma que estas devem ter um tamanho suficiente para impedir a rápida dissipação de calor e umidade e, ao mesmo tempo, permitir uma boa circulação de ar (RODRIGUES, 2006). Já quanto à altura do material, de acordo com Kiehl (2004), deve estar entre 1,5 m e 1,8 m. Entretanto, Nunes (2003) verificou que em leiras com dimensões de 2,60 m de comprimento, 2,00 m de largura e 1,00 m de altura, as temperaturas mantiveram-se entre 40°C e 55°C por um longo período.

O trabalho desenvolvido teve como objetivo garantir a eficácia da compostagem durante 90 dias através de análises físico-químicas dos parâmetros de umidade, temperatura e pH, e parâmetros indesejáveis como insetos, odores e presença de chorume através de observações visuais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campo Experimental Santa Mônica – Embrapa Gado de Leite, localizado em Barão de Juparanã, distrito da cidade de Valença/RJ.

As leiras foram construídas com material de bambu picado onde os colmos foram triturados em picadeiras de capim para obtenção do material ve-

getal a ser utilizado na compostagem. Em seguida, foi armazenado em local seco e coberto com telhas para que ocorra a secagem natural do bambu. Foram utilizados dez caminhões de bambu seco e picado para sua construção. A pilha de compostagem foi aerada e irrigada com água nos primeiros dias, para melhores resultados, alcançando os parâmetros de temperatura, umidade e pH esperados.

Para esse experimento, foram submetidos ao processo de eutanásia cinco animais bovinos da raça girolando, que foram acondicionados lado a lado, na mesma posição e na mesma leira, sobre a cama feita com o material vegetal picado.

O processo de compostagem foi realizado dentro do período de 90 dias, tendo início em novembro de 2017 e terminando em janeiro de 2018. Foram realizadas análises de pH e umidade em cada animal em um determinado intervalo de tempo, com material coletado em seis pontos diferentes, sendo eles: boca, rúmen, úbere, pele, cama (em baixo do animal) e superfície (por cima do animal). O último animal cujas amostras foram coletadas serviu como referência para medir a temperatura, utilizando o termômetro digital (Mod. TH-200, indicação de temperatura interna e externa) adaptado com barras de ferro para se chegar até o local onde se fazia a medição uma vez ao dia durante os 90 dias de compostagem.

O primeiro animal foi retirado da leira com sete dias de compostagem, o segundo animal com quinze dias, trinta dias, sessenta dias e noventa dias, respectivamente. As temperaturas foram medidas embaixo do animal (cama), dentro do animal (rúmen) e por cima do animal (superfície).

As análises foram realizadas no laboratório do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ) *campus* Valença. O teor de água foi feito pelo método gravimétrico, usando secagem em estufa (Ne-5575 COMTEMP) a 105°C, e balança analítica modelo (Ay 220) para pesar as amostras.

O pH foi medido por pHmetro modelo (MPA-210 Tecpon), usando a proporção 10/100 diluindo a amostra em água destilada. Os resultados encontrados foram tabelados e discutidos a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aquecimento do material orgânico fornece informações sobre sua atividade biológica e seu grau de decomposição. Com isso, a atividade metabólica da população microbiana resulta na produção de calor e no aumento de sua temperatura durante a compostagem. O au-

mento da temperatura também serve como um indicativo de fermentação, relacionando-se com a desnaturação da proteína; logo, interfere diretamente na eliminação de patógenos.

Pode-se observar, na Tabela 1, a variação da temperatura coletada nos cadáveres dos bovinos. A temperatura começou a se elevar a partir do terceiro dia de compostagem; no décimo dia, alcançou a máxima de 70°C no interior do animal. De acordo com Tavares (2009), temperaturas abaixo de 60°C não eliminam microrganismos, ovos de patógenos, larvas etc. Nos primeiros 15 a 20 dias, os valores de temperatura são de 60°C a 70°C, eliminando, assim, os eventuais problemas.

Tabela 1 – Coletas de dados das temperaturas °C

Dias	Superfície		Cama		Rúmen	
	In	Out	In	Out	In	Out
-						
1	30,5	35	29,1	37,6	29,8	41,6
7	30,6	63,5	27,2	63,5	32,5	60,6
15	29,5	45,7	29,9	50	30,8	59,9
30	28,9	27,9	27,8	39,2	29,9	53,8
60	40,9	34,8	47,4	61,7	50,3	50,1
90	38,9	39,5	37	50,9	39,9	48,7

Fonte: Os autores

Nos dois primeiros meses, a temperatura se manteve elevada, entre 40°C a 60°C, o que garante a eliminação total de patógenos. A partir do segundo mês, a temperatura começou a reduzir, estando entre 30°C a 50°C, variando de acordo com a temperatura ambiente. No trabalho realizado por (BRITO *et al.*, 2008), após três meses, as temperaturas diminuíram gradualmente até chegar à temperatura ambiente, colaborando com os resultados encontrados.

A variação da temperatura ao longo do processo pode definir o tipo de microrganismo predominante e sua eficiência em termos agrícolas e sanitários (TAVARES, 2009).

De acordo com a Tabela 2, o pH em cada local possui um valor diferente. Isso acontece porque cada local específico possui um pH ideal. Com sete dias de compostagem, o pH se encontra em meio alcalino na maioria dos locais, podendo-se dizer estar em fase final da primeira etapa. O rúmen, por estar localizado no interior do animal, demora mais a alcançar sua alcalinidade. A partir de trinta dias, todos os pontos dentro do animal se encontram em meio alcalino, eliminando, assim, possíveis bactérias indesejáveis. Segundo Tchobanoglaus (1993), o valor do pH não deveria exceder 8,5 para minimizar as perdas de NH₃, o que mostra o fim da compostagem dentro de noventa dias com todos os valores dentro do esperado, considerando as margens de erro.

O pH não é um fator crítico na compostagem, ele apenas é um indicativo do estágio em

que o material se encontra durante o processo. Entretanto, pode afetar o metabolismo, a permeabilidade e a absorção dos microrganismos, além da interferência na disponibilidade de nutrientes e solubilização de elementos tóxicos. Portanto, é de extrema importância observar as faixas de pH e garantir que, no final do processo, se encontre em meio alcalino para que não haja proliferação de bactérias em meio ácido.

Tabela 2 – Valores de pH durante a compostagem

Animal	Boca	Cama	Rúmen	Úbere	Superfície	Pele
1	6,83	7,03	5,43	7,74	7,90	8,00
2	7,47	7,33	5,51	7,29	6,80	8,30
3	7,96	6,67	7,99	7,36	7,25	8,30
4	7,45	6,93	7,81	7,81	8,51	8,43
5	7,02	7,78	8,70	8,00	8,27	8,49

Fonte: Os autores

Com base na Tabela 3, de umidade, observou-se que, nos primeiros dois meses, todos os valores se encontram dentro do limite estabelecido, entre 30% a 70%. De acordo com Oliveira, Lima e Cajazeira (2004), a partir do último mês de compostagem, houve uma mudança bastante significativa nas amostras, tornando-as excessivas, e outras com baixos teores. Isso pode ser explicado pela falta de aeração nas leiras, ocorrendo uma fermentação sem oxigênio e acarretando problemas indesejáveis, como odores fortes de amônia. No trabalho realizado por Imbar (1988), a umidade nas pilhas também foi superior ao valor máximo, o material ficou saturado de água e a atividade microbiana diminuiu, por conta do oxigênio. Para se obter os melhores resultados em questões de umidade, é indicado realizar a irrigação quando estiver com baixa umidade e, em altos teores, o reviramento das leiras (ARNOSTI JUNIOR, 2002).

Tabela 3 – Umidade analisada durante a compostagem

Animal	Boca	Cama	Rúmen	Úbere	Superfície	Pele
1	39%	80%	25%	51%	41%	49%
2	46%	82%	25%	62%	58%	39%
3	71%	46%	62%	65%	73%	39%
4	55%	68%	67%	56%	82%	39%
5	84,1%	29,8%	20,5%	34,08%	79,2%	41,9%

Fonte: Os autores

O material deve sempre estar úmido, pois valores abaixo de 30% impedem a fermentação e, maiores que 70%, expulsam o ar do ambiente. Com isso, a aeração se torna essencial para que a presença do ar na massa se torne estável e consiga realizar as trocas gasosas.

O arejamento pode diminuir a emissão de N₂O durante a compostagem, porém aumentará a emissão de NH₃. Isso pode ser mudado de acordo com a dimensão das pilhas – quanto maior for a pilha, maior será a anaerobiose. Alguns dos principais responsáveis pelas perdas de nitrogênio são as trocas gasosas com o exterior, a baixa razão entre carbono/nitrogênio, o elevado pH e a elevada temperatura.

Nos primeiros quinze dias, notou-se visivelmente a fermentação acontecer, liberando gases/fumaça com ausência de odores, o que confirma que altas temperaturas favorecem as trocas gasosas. A porosidade dos grânulos de bambu também facilitou as trocas gasosas e aeração da pilha. Nos noventa dias de compostagem, não se teve presença de moscas e insetos indesejáveis. O odor foi imperceptível por conta da fermentação na presença de oxigênio e não houve nenhum vestígio de chorume abaixo das leiras.

Na retirada do terceiro animal, observaram-se algumas partes mumificadas da carcaça, o que se justifica pela ausência de entrada de oxigênio. Por já terem passado dois meses, não havia necessidade de aeração. Com isso, foi realizada novamente a aeração da pilha, favorecendo a oxigenação, secagem e diminuição do volume do material a ser compostado, a partir do fornecimento de oxigênio. Isso explica o fato de o quarto animal estar dentro das condições ideais de pH e umidade.

O quinto animal a ser retirado apresentou um odor forte de amônia no interior da pilha e sua temperatura um pouco elevada no interior. Ocorreu volatilização de NH₃, pois seu pH estava mais elevado e a temperatura também (RAVIV *et al.*, 2004). No entanto, o material orgânico estava estabilizado, formando um material estável, escuro, amórfico e com aspecto de húmus (WITTER; LOREZ-REAL, 1987). O experimento foi realizado em época de chuvas fortes com temperaturas elevadas na estação do verão, o que favoreceu na irrigação e aeração das pilhas. A temperatura elevada também fez com que o processo fosse mais rápido, em menos de quinze dias se chegou a 70°C na compostagem.

CONCLUSÃO

Noventa dias de compostagem atingem todos os padrões esperados, porém a umidade se mostrou variar por falta de aeração no último mês, o que ocasionou forte odor de amônia. Conseguiu-se manter a temperatura elevada todos os dias, o que garante a morte de bactérias termófilas e livre de patógenos como *Salmonella sp.* e *Escherichia coli*.

A partir do segundo mês, o pH se encontrou alcalino, garantindo estar na segunda fase da compostagem, junto com a temperatura mais baixa, podendo ser indicado como fim do experimento.

Com isso, podemos dizer que a compostagem é um método eficaz se for feito de forma adequada, podendo ser usado como fertilizante orgânico, livre de contaminação e eventuais doenças. Além de agregar valor a um material descartado irregularmente que poderia poluir o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ARNOST JÚNIOR, Sérgio. *Tratamento de resíduos sólidos e efluentes gasosos*. Piracicaba: EAP, 2002.
- BRITO, L. M.; AMARO, A. L.; MOURÃO, I.; COUTINHO, J. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. *Red. de Revistas científicas da América Latina*, p.1.959-1.968, 2008.
- COSTA, Mônica Sarolli Silva de Mendonça. *Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes*. 2005. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101718>. Acesso em: 23 jan. 2019.
- CURCI, Vera Cláudia Lorenzetti Magalhães et al. Pré-compostagem de cadáveres de bovinos acometidos pelo botulismo. *Revista Pesquisa Veterinária Brasileira*, São Paulo, v. 4, n. 27, p. 157-161, abr. 2007.
- ECOHEM. *Composting process*. 2004. Disponível em: http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html. Acesso em: 23 jan. 2019.
- FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira. *Manual prático para a compostagem de biossólidos*. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- INBAR, Y.; CHEN, Y.; HADAR, Y.; VERDONCK, O. Composting of agricultural wastes for their use as container media: simulation of the composting process. *Biological wastes*, v. 26, p. 247-259, 1988.
- JIMENEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological wastes*, v. 27, p. 115-142, 1989.
- KEENER, H. M.; DAS, K. Process control based on dynamic properties in composting: moisture and compaction considerations. In: EPSTEIN, Eliot (Org.). *The science of composting – part 1*. England: Chapman & Hall, 1996. p. 116-125.
- KIEHL, Edmar J. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Editora Agrônômica Ceres, 1985. 492 p.
- KIEHL, Edmar J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 4. ed. Piracicaba: Editora Agrônômica Ceres, 2004. 173 p.
- KIEHL, Edmar J. *Como compostar resíduos sustentavelmente*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005.
- MORREL, J. L. et al. Methods for evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In: GASSER, J.K. *Composting of agricultural and other wastes*. London: Elsevier, 1985. p. 56-72.
- NOGUEIRA, Wanderley Antonio; COSTA, Devens Damião. *Variação da temperatura na compostagem de resíduos sólidos orgânicos*. Vitória: Ufes, 2011.
- NUNES, Maria Luísa Appendino. *Avaliação de procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos*. 2003. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- OLIVEIRA, Francisco N. S.; LIMA, Hermínio José M.; CAJAZEIRA, João Paulo. *Uso da Compostagem em Sistemas Agrícolas Orgânicos*. Fortaleza: Embrapa, 2004.
- PEREIRA NETO, João Tinôco. *Manual de compostagem: processo de baixo custo*. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.
- RAVIV, M. et al. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. *Compost Sci. Util.*, v.1, n. 12, p. 6-10, 2004.
- RODRIGUES, M. S. et al. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. *Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria*. Botucatu: FEPAF, 2006. p. 63-94.
- SHARMA, V. K. et al. Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: review. *Energ. Convers. Manage.*, v. 1, n. 38, p. 453-478, 1997.
- STENTIFORD, E. T. Composting control, principles and practice. In: DEBERTOLDI, M.; SEQUI, P.; LEMMES, B.; PAPI, T. (Eds.). *The science of composting*. London: Chapman Hall, 1986. p. 49-59.
- TAVARES, Guilherme Farias. *Fatores que influenciam o processo de compostagem*. 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2WGM0kM>. Acesso em: 29 jan. 2019.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. *Integrated solid waste management, engineering principles and management issues*. New York: McGraw, 1993.
- TIQUIA, S.M. et al. Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. *Agr. Ecosyst. Environ.*, v. 1, n. 67, p. 79-89, 1998.
- TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technol.*, v. 1, n. 72, p. 169-183, 2000.
- WITTER, E.; LOPEZ-REAL, J. M. *Monitoring the composting process using parameters of compost stability*. Londres, 1987.
- ZHANG, Y.; HE, Y. 2006. Co-compostig solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. *Bioresource Technol.*, v. 1, n. 97, p. 2.024-2.031, 2006

DADOS DOS AUTORES

Jéssica Motta Carvalho (mottajssica@yahoo.com.br). Bacharel em Engenharia de Alimentos, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca *campus* Valença/RJ.

Juliana Muhammad Ferreira (jujumhammad@gmail.com). Bacharel em Engenharia de Alimentos, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca *campus* Valença/RJ.

Mabelle Biancardi Oliveira de Medeiros (mabellebiancardi@yahoo.com.br). Doutorado em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense. Professora do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Marcelo Henrique Otênio (marcelo.otenio@embrapa.br). Doutorado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Vanessa Romário de Paula (vanessa.paula@embrapa.br). Especialização em Logística Empresarial pelo Instituto Paulista de Ensino e Pesquisa (Ipep), analista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

ANÁLISE DE ENERGIA DE SOLDAGEM *VERSUS* CORROSÃO NO AISI 316L

Natasha da Fonseca

Glaucio Soares da Fonseca

Elivelton Alves Ferreira

RESUMO: O aço inoxidável austenítico AISI 316L é utilizado onde há demanda por boa resistência à corrosão, boas propriedades mecânicas, em ambientes com variações de temperatura e submetido à vibração ou outros esforços mecânicos consideráveis. O presente estudo se propõe a analisar os resultados relativos ao comportamento desse metal na forma de tubos utilizados em trocadores de calor em indústria *offshore* após a aplicação do processo de soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*) de forma autógena (sem metal de adição). Caracterizações microestruturais, eletroquímicas e mecânicas foram realizadas em amostras com energias de soldagem diferentes, além do metal como recebido. A caracterização eletroquímica foi realizada em meio à solução aquosa contendo 3,5% de cloreto de sódio (NaCl) e mostrou o comportamento corrosivo desse material, principalmente com relação à corrosão localizada. Para os parâmetros utilizados, os resultados mostram que o aço inoxidável AISI 316L pode ser empregado sem comprometer suas propriedades corrosivas e mecânicas.

Palavras-chave: Aço inoxidável austenítico. AISI 316L. Energia de soldagem. Soldagem TIG. Corrosão localizada.

ABSTRACT: AISI 316L austenitic stainless steel is used where there is demand for good corrosion resistance, good mechanical properties, in environments with temperature variations and subjected to vibration or other considerable mechanical stresses. The present study proposes to analyze the results concerning the behavior of this metal in the form of tubes used in heat exchangers in offshore industry after the application of the TIG (*Tungsten Inert Gas*) welding process in autogenous form (without addition metal). Microstructural, electrochemical and mechanical characterization were performed in samples with different welding energies, and in the metal as received. The electrochemical characterization was performed in aqueous solution containing 3.5% sodium chloride (NaCl) and showed the corrosive behavior of this material, mainly in relation to the localized corrosion. For the parameters used the results show that AISI 316L stainless steel can be used without compromising its corrosive and mechanical properties.

Keywords: Austenitic stainless steel. AISI 316L. Welding energy. TIG welding. Localized corrosion.

INTRODUÇÃO

O aço inoxidável austenítico AISI 316L – também conhecido como UNS (ASTM) S31603 – é um aço composto principalmente pelos elementos de liga cromo (Cr) e níquel (Ni), tendo também porcentagens menores de manganês (Mn), fósforo (P), enxofre (S), silício (Si), molibdênio (Mo) e carbono (C). Esse material tem como característica a passivação, que consiste na formação de uma camada protetora de óxido de cromo (Cr_2O_3) após uma primeira corrosão superficial (CHIAVERINI, 2005; FAVORIT, 2017).

Esse aço tem diversas aplicações em seus mais variados formatos disponíveis no mercado. Os tubos de AISI 316L são utilizados mais recorrentemente em aplicações industriais químicas, farmacêuticas, de cosméticos e de petróleo (CARBÓ, 2008), e é nesse formato que nossos estudos foram feitos. O tubo analisado no presente trabalho é utilizado em trocadores de calor em aplicação industrial *offshore*.

O AISI 316L surgiu como uma evolução do seu antecessor, AISI 316, que apresentava porcentagem de carbono máxima de 0,08%, o que o tornava relevantemente suscetível à corrosão intercrystalina (próximo aos contornos dos grãos), principalmente após soldagem ou exposição do material a temperaturas entre 450°C e 850°C. No AISI 316L, o teor de carbono foi ajustado para o máximo de 0,03%, reduzindo em grande parte os problemas com corrosão intergranular. No caso do AISI 316 ou em outros aços inoxidáveis com teor de carbono igual ou superior a 0,08%, a aplicação do processo de soldagem (onde se cria um gradiente de temperatura que, em sua zona mais quente, é próxima dos 1.650°C) causa a precipitação dos carbeto de ferro e cromo, resultando em corrosão intercrystalina. Os carbeto tendem a formar uma rede em torno dos grãos de austenita, que pode fraturar quando o material é submetido a algum trabalho mecânico (SOLDOR, 2017), visto que nas regiões adjacentes aos carbeto ocorre a queda da concentração de cromo, afetando a resistência à corrosão do material (SILVA, 2010).

A versão melhorada, objeto desse estudo, AISI 316L, possui resistência à corrosão (generalizada) até 875°C e 300°C, no caso de corrosão intercrystalina (FAVORIT, 2017).

Tendo conhecimento de que quanto menor o teor de carbono menos suscetível um aço estará à sensibilização (processo de exposição de um aço a altas temperaturas por um dado tempo, resultando numa tendência à corrosão intercrystalina) (GENTIL, 2011), o presente trabalho anali-

sou o comportamento do AISI 316L quando submetido a processos de soldagem em diferentes faixas de aplicação de energia e a um posterior processo não espontâneo de corrosão em solução aquosa de 3,5% de cloreto de sódio (NaCl). O estudo visa à caracterização eletroquímica do material, além de ensaios de dureza – ambos os ensaios visando à análise de possíveis correlações entre os valores de energia de soldagem aplicados e o comportamento do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho se trata de um tubo, de diâmetro externo de 19,15 mm e de espessura de 2,15 mm, do aço inoxidável AISI 316L, também conhecido como UNS (ASTM) S31603. Sua composição teórica e suas propriedades mecânicas (AZOM, 2017) estão expostas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Composição química do aço inoxidável AISI 316L

C máx.	Mn máx.	P máx.	S máx.	Si máx.	Ni	Cr	Mo
0,03	2,00	0,045	0,030	0,75	10-14	16-18	2-3

Fonte: AZOM, 2017

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço AISI 316L

Resistência à tração mín. (MPa)	Limite de escoamento mín. (MPa)	Alongamento mín. (% em 50mm)	Dureza Brinell máx. (HB)
485	170	40	217

Fonte: AZOM, 2017

Soldagem

Para a soldagem do AISI 316L, foi utilizado o processo TIG, em solda sem eletrodo consumível, como artifício para evitar modificação na composição química inicial. Tal procedimento foi realizado no Laboratório de Soldagem da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEMVR).

Amostras do material foram submetidas à soldagem TIG com variadas energias (E). A energia é dada pela equação (1).

$$E = \eta IV/v \quad (1)$$

Onde η representa o rendimento médio do processo de soldagem que é considerado 80% (FONSECA *et al.*, 2017; MOHAMMED *et al.*, 2017). I e V são a corrente e a tensão, respectivamente, aplicados à soldagem. A velocidade do passe é dada por v. A corrente e a tensão foram os parâmetros utilizados para variação do aporte

térmico no processo. A velocidade foi mantida como parâmetro fixo de valor 2,84 mm/s.

Foi utilizada a distância de 2 mm entre o metal e o eletrodo de tungstênio e a soldagem não utilizou de eletrodo consumível. O gás de proteção utilizado foi o Argônio puro com vazão de aproximadamente 16 litros por minuto e a soldagem foi realizada no modo corrente contínua (CC-).

Pelo fato de a espessura do tubo ser pequena, a soldagem se torna um processo delicado e a energia de soldagem aplicada foi relativamente baixa se comparada a outros trabalhos dedicados ao estudo da corrosão em aços inoxidáveis (YURTISIK *et al.*, 2013; MOHAMMED *et al.*, 2017; SOŁTYSIAK *et al.*, 2018).

Na Tabela 3, é possível observar as variações de corrente e tensão e sua energia de soldagem resultante da aplicação da equação (1), para cada corpo de prova.

As amostras foram cortadas, embutidas e tiveram suas superfícies lixadas com lixas d'água de carbeto de silício de granulometria de 120 a 4000 mesh, além de polidas com alumina em dois estágios, 1 µm e 0,3 µm, com o objetivo de analisar a seção transversal à solda para a análise das regiões de soldagem.

Tabela 3 – Corrente, tensão e energia de soldagem aplicadas às amostras trabalhadas através da soldagem TIG.

*A amostra mb é de material como recebido, sem solda.

Amostras	Soldagem TIG		
	Corrente (ampere)	Tensão (volts)	Energia de soldagem (KJ/mm)
MB	*	*	*
S01	20	11,7	0,0659
S02	25	11	0,0775
S03	30	10,7	0,0904
S04	35	10,5	0,1035
S05	50	11	0,1549

Corte, preparação metalográfica e caracterização microestrutural

Foi então realizado o ataque químico com Behara (modificado) composto por 20 ml de Ácido Clorídrico (HCl), 80 ml de Água Destilada (H₂O) e, a cada 100 ml dessa solução aquosa, 1 g de Metabissulfato de Potássio (K₂S₂O₅) para relevar as microestruturas presentes.

Para obtenção das micrografias, foi utilizado o microscópio óptico da marca Nikon, modelo Eclipse LV150 equipado com uma câmera Nikon DS-Fi1 e com o *software* NIS-Element D versão 3.2. Foram realizadas imagens em cada região da solda identificada em cada amostra

(ZF – Zona Fundida, ZTA – Zona Termicamente Afetada e MB – Metal Base) e na amostra como recebida, visando à caracterização microestrutural do metal base.

Caracterização eletroquímica

Em seguida, foi realizada a caracterização eletroquímica com o auxílio potenciostato EmStat3+ – PalmSens associado a uma célula eletroquímica adaptada à amostra (ICEx, Instituto de Ciências Exatas), que permitiu analisar o comportamento eletroquímico das amostras através das curvas de polarização resultantes. O eletrodo de referência utilizado foi de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl) e o contraeletrodo foi o de platina (Pt). Durante o ensaio, as regiões ensaiadas estavam expostas a uma solução aquosa de 3,5% de cloreto de sódio (NaCl). As varreduras para as curvas de polarização cíclicas foram iniciadas num valor de 0,5 V abaixo do potencial de corrosão (E_{corr}) de cada amostra e tiveram seu sentido revertido num valor de 1,5 V acima do E_{corr}.

Caracterização mecânica

Para os ensaios de dureza, foi utilizado o durômetro com microindentação HMV – 2 Shimadzu, com carga de 980,7 mN (aproximadamente 0,1 kgf) por 15 segundos, a fim de trazer o perfil de dureza e avaliar o comportamento mecânico das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização microestrutural

A Figura 1 apresenta a microestrutura da amostra do material como recebido (MB). Apresentou, como esperado, microestrutura predominante de austenita (γ), seguida em menor quantidade por 5 a 10% de ferrita (δ) (MOHAMMED *et al.*, 2017), apresentada na figura mostrada como grãos bem definidos de tons alaranjados. Além disso, é possível observar, também em tons alaranjados, contornos de grãos e maclas, possivelmente originadas durante o processo de fabricação do tubo. O tamanho médio de grão de austenita nessa região é de 41,7 ± (3,9) µm.

As energias de soldagem aplicadas nas amostras S01, S02 e S03 não foram altas o suficiente para que apresentassem ZF ou ZTA bem definidas ou morfologia heterogênea. Na amostra S01 (Figura 2.A) não foi possível a contagem de tamanho de grãos, pois a energia aplicada não foi suficiente para uma análise da modificação na morfologia dos grãos nessa região – tendo 162,4 µm como penetração máxima de região de solda.

A amostra S02 (Figura 2.B) apresentou profundidade de soldagem máxima de 135,1 μm , porém, observam-se grãos mais bem definidos, permitindo a obtenção de um valor médio de grãos de 7,9 μm ($\pm 0,2$) na região da solda. A amostra S03 (Figura 2.C) apresentou profundidade máxima de penetração de solda de aproximadamente 209,1 μm e o tamanho médio de grão obtido na região da solda foi de 10,9 μm ($\pm 0,8$).

A amostra S04 também apresentou uma só região de solda (Figura 3.A), não sendo possível diferenciar a zona fundida da zona termicamente afetada. Entretanto, apresentou grande diferença visual entre grãos equiaxiais (Figura 3.B) e grãos colunares (Figura 3.C), que indicam o início da formação de grãos maiores, para a formação de uma morfologia diferente das anteriormente encontradas (amostras S01, S02 e S03). Por essa razão, o tamanho de grão foi obtido através de medições diferentes para esses dois formatos.

Para a região de grãos de formato equiaxiais, o tamanho de grão encontrado foi de 5,5 μm ($\pm 0,6$), sendo que a maioria dos grãos se encontrava entre 4 e 6 μm . Para os grãos de formato colunar, foi possível obter uma espessura média para os grãos colunares dessa amostra de 7,2 μm ($\pm 0,5$) e altura média de 18,2 μm ($\pm 0,2$). A altura máxima da penetração de solda para essa energia de soldagem foi de aproximadamente 1596,8 μm . Além disso, para a região de grãos colunares, foi possível garantir uma razão entre altura e espessura dos grãos de aproximadamente 2,5 que garante que essa morfologia possa ser caracterizada como colunar.

A amostra S05 foi a única deste estudo que apresentou região bem definida de uma ZTA. A Figura 4 mostra essa região. Não foi possível a medida dos grãos na zona fundida, pois esta não apresentou morfologia de grãos bem definida. O tamanho de grão médio encontrado na ZTA é de 31,0 μm ($\pm 3,8$).

Não foi possível fazer aproximação da profundidade máxima de penetração para essa amostra, visto que o menor aumento disponível no microscópio utilizado é de 50 vezes – essa amostra apresentou profundidade de solda consideravelmente maior do que foi possível registrar. Porém, é possível afirmar que a penetração foi maior que 1067,5 μm (tamanho total fornecido para a micrografia no menor aumento disponível).

Figura 1 – Microestrutura da Amostra MB, sem solda: Ferrita (δ), Austenita (γ) e maclas que podem ser observadas como a exemplificada em destaque no círculo

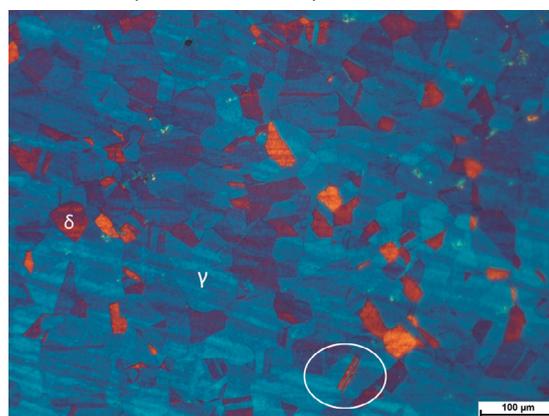


Figura 2 – Micrografias das Amostras S01 (A), S02 (B) E S03 (C) indicando as regiões de metal base (MB) e zona fundida (ZF), bem como a profundidade máxima da região de solda

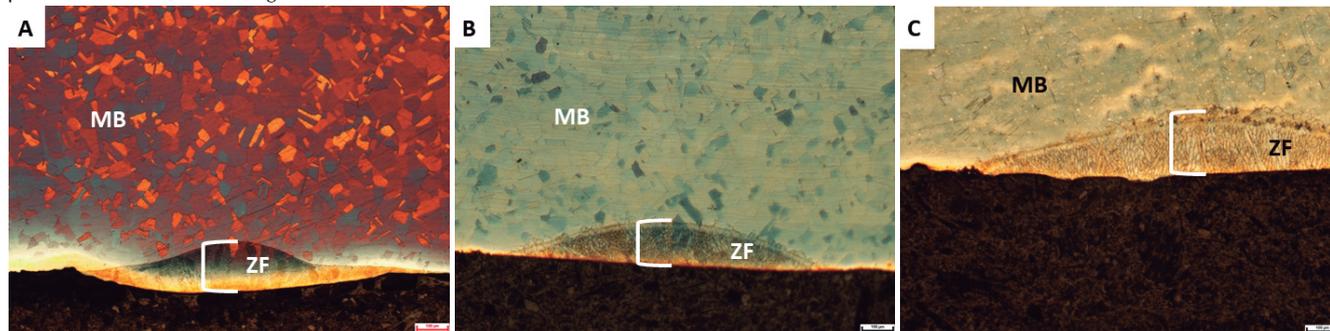
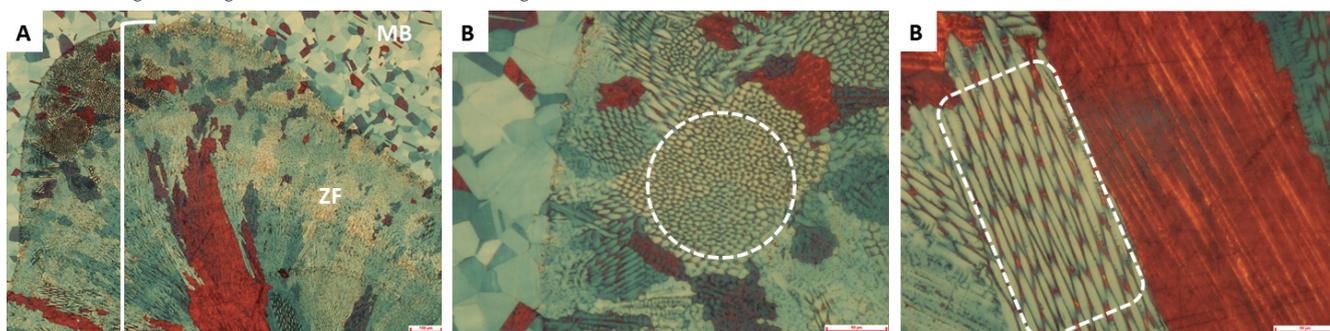
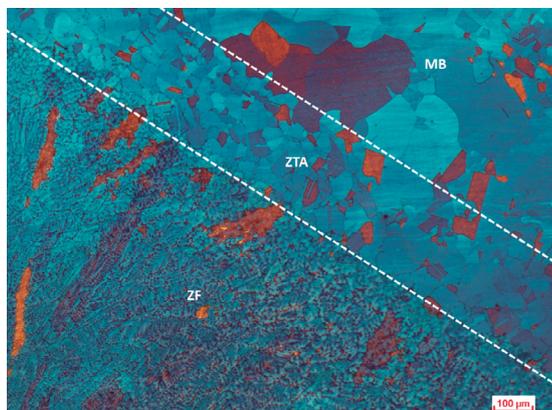


Figura 3 - Micrografia da amostra da região de solda da Amostra S04 (A); micrografia dos grãos equiaxiais observados na região de solda da Amostra S04 (B); micrografia dos grãos colunares observados na região de solda da Amostra S05



Através da análise das micrografias dessas amostras de diferentes energias de soldagem, é possível notar que, quanto maior a energia de soldagem, menor a taxa de resfriamento e maiores os grãos. Nota-se também que, de maneira geral, quanto maior a energia de soldagem, maior a profundidade de penetração da solda.

Figura 4 – Micrografia da amostra S05 com ZTA (zona termicamente afetada) em destaque



Caracterização eletroquímica

Apesar da pouca variação de energia de soldagem de uma amostra para a outra, não foi possível perceber um padrão no comportamento das curvas das respectivas amostras. O potencial de corrosão (E_{corr}) do metal base foi menor do que os potenciais de corrosão para as amostras soldadas, o que significa que as amostras soldadas têm maior resistência à corrosão que o metal base. Isso provavelmente se deve à presença da fase secundária ferrita (δ), que, mesmo em pequena quantidade, estava presente no MB e não estava presente nas regiões de solda, pois durante a soldagem a ferrita (δ) é dissolvida (DADFAR *et al.*, 2007).

Na Figura 5, é possível observar a curva de polarização cíclica para a Amostra MB (como recebida). A curva tem início na região catódica, seguido pela região que caracteriza o E_{corr} . A corrente apresenta um aumento entre o potencial de corrosão e o potencial de pite (E_{pite}) na região passivada. Após o potencial de pite, ocorre um aumento exponencial da corrente causado pela quebra da película protetora antes existente. Nessa amostra, houve uma histerese positiva (ABOUT CORROSION, 2018), característica de materiais com tendência à formação de pites. Logo, observa-se a diminuição da corrente, provavelmente em decorrência de uma possível repassivação.

A Figura 6 mostra o comparativo entre as curvas de polarização da Amostra MB e da Amos-

tra S01. Essa também indica tendência à formação de pites – além de área de transpassivação característica, com aumento da corrente e provável quebra da película passiva, indicando corrosão.

Figura 5 – Curva de polarização cíclica da amostra MB (como recebida)

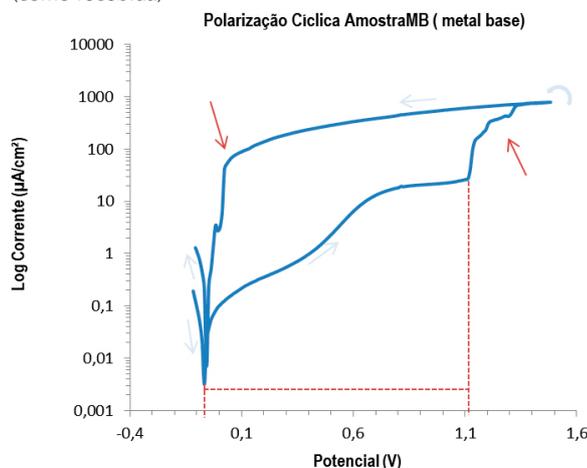
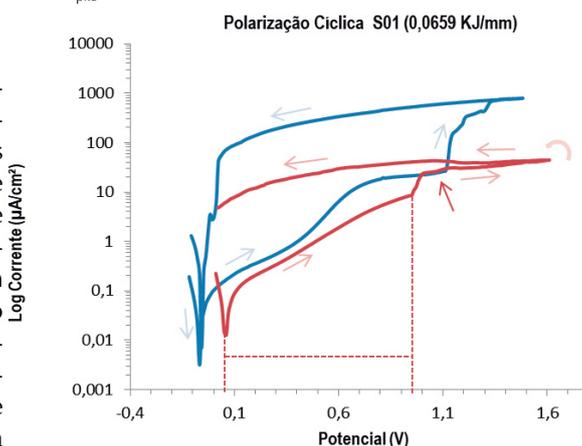


Figura 6 – Comparativo entre as curvas de polarização cíclica da Amostra MB (azul) e da Amostra S01 (vermelho – soldagem com energia de 0,0659 KJ/mm). $E_{corr} = 0,0609$ V; $E_{pite} = 0,9309$ V



É possível observar, na Figura 7, a curva relativa à Amostra S02, com energia de soldagem de 0,0775 KJ/mm, onde houve uma histerese negativa, configurando não haver tendência de formação de pites (WOLYNEC, 2003). Após o potencial de corrosão, a curva entra na região anódica com corrente crescente, mas não apresenta região de quebra da película passivada.

A Amostra S03 (Figura 8) apresentou histerese positiva, com crescimento de corrente após a região de passivação mais significativo que as anteriormente apresentadas, caracterizando corrosão localizada no material. Na região da curva, já na etapa final da varredura, que indica repassivação, é possível notar uma não homogeneidade, o que pode significar dificuldade na repassivação do material.

A curva de polarização cíclica comparativa para a Amostra S04 (Figura 9) teve comportamento semelhante ao da Amostra S02. Apesar de, por definição, a histerese ter apresentado comportamento positivo, a curva apresenta aspecto semelhante a curvas de histerese negativa. Não há região de transpassivação definida, o que indica não haver tendência à corrosão por pites. Na curva, são apresentados os potenciais de corrosão e de repassivação.

Por fim, a Amostra S05 (Figura 10), amostra de maior energia de soldagem aplicada (0,1549 KJ/mm) neste estudo, por conta das limitações físicas de espessura do tubo estudado, apresentou também uma histerese positiva, bem como as outras regiões características dessa curva, indicando tendência à corrosão por pites. Dentre as amostras estudadas, essa foi a que alcançou maiores valores corrente, porém foi também a que apresentou o potencial de repassivação mais próximo à histerese, indicando tendência à formação de pites, mas também uma tendência a repassivação destes.

Como é possível observar, os potenciais de corrosão e de pite não foram dependentes do aumento da energia de soldagem aplicada. Também não foi possível observar nenhuma correlação aparente entre os valores de E_{pite} e E_{corr} .

A amostra S05, de maior energia de soldagem aplicada nesse estudo (0,1549 KJ/mm), foi a única que apresentou danos localizados bem caracterizáveis por microscopia óptica, como mostram as Figuras 11 e 12.

A amostra S05 apresentou E_{corr} e E_{pite} próximos aos do material sem intervenção (Amostra MB). Em tese, essa energia poderia ser aplicada para pequenos reparos, pois se observou que as propriedades eletroquímicas do material não foram afetadas de maneira relevante.

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de polarização cíclica da Amostra MB (azul) e da Amostra S02 (soldagem com energia de 0,0775 KJ/mm). $E_{\text{corr}} = -0,1361$ V; $E_{\text{p}} = 0,0939$ V

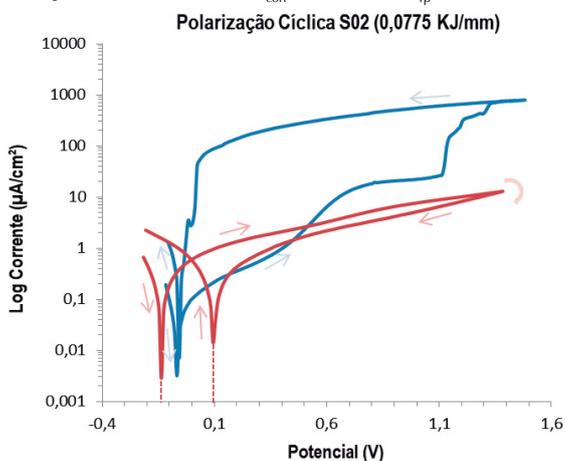


Figura 8 – Comparativo entre as curvas de polarização cíclica da Amostra MB (azul) e da Amostra S03 (soldagem com energia de 0,0904 KJ/mm). $E_{\text{corr}} = -0,1211$ V; $E_{\text{pite}} = 0,5389$ V

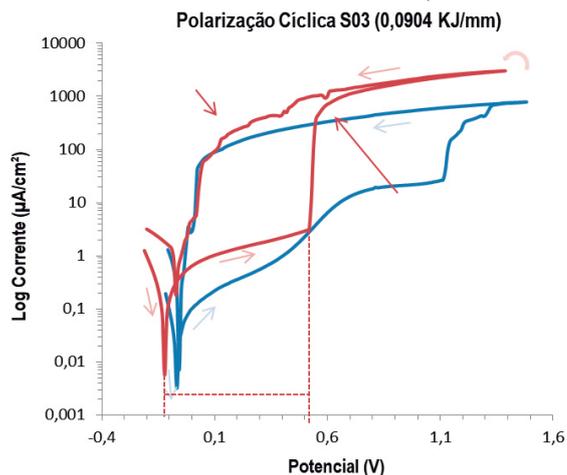


Figura 9 – Comparativo entre as curvas de polarização cíclica da Amostra MB (azul) e da Amostra S04 (soldagem com energia de 0,1035 KJ/mm). $E_{\text{corr}} = -0,0068$ V; $E_{\text{pite}} = 0,4033$ V

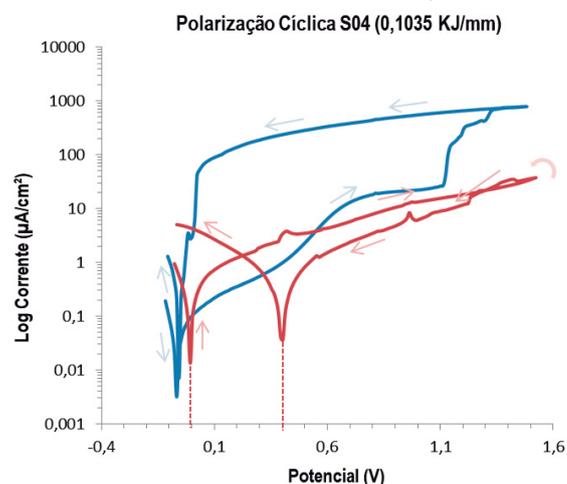


Figura 10 – Comparativo entre as curvas de polarização cíclica da Amostra MB (azul) e da Amostra S05 (soldagem com energia de 0,1549 KJ/mm). $E_{\text{corr}} = -0,0068$ V; $E_{\text{pite}} = 0,4033$ V

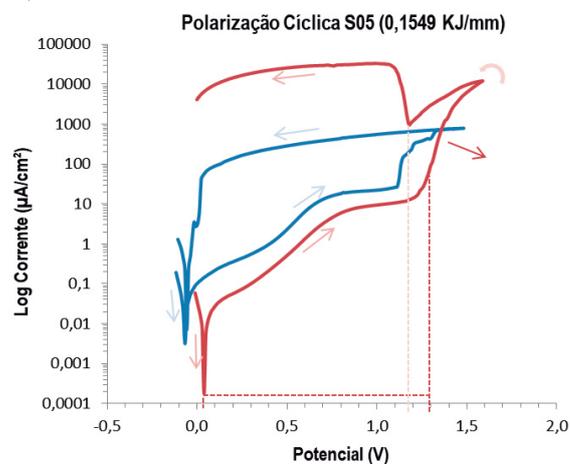


Figura 11 – Dano na região de solda da Amostra S05, de energia de soldagem de 0,1549 KJ/mm, após ensaio eletroquímico

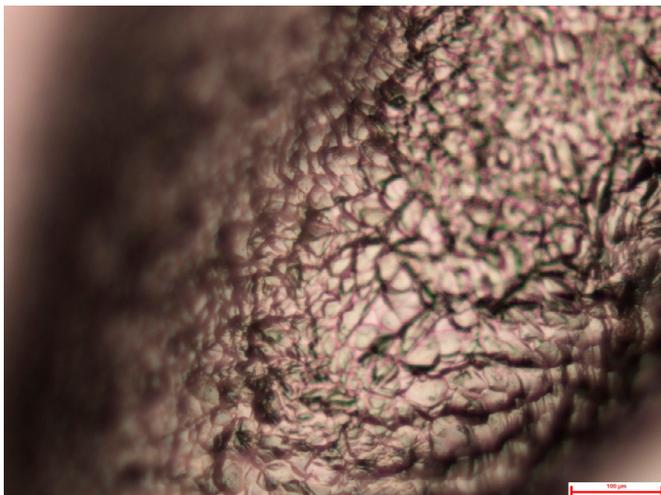
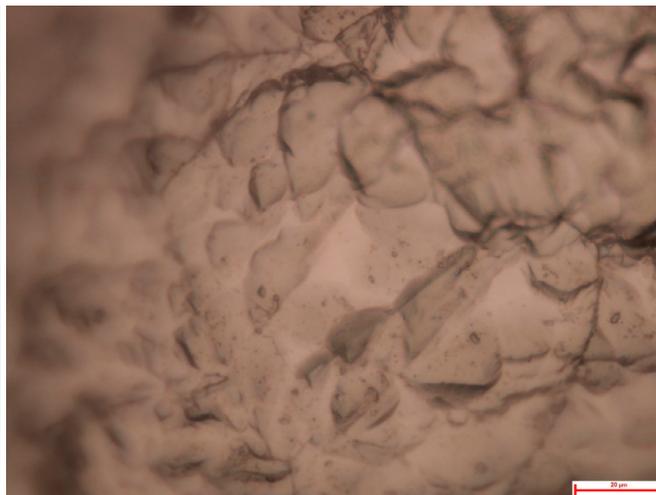


Figura 12 – Dano na região de solda da Amostra S05, de energia de soldagem de 0,1549 KJ/mm, após ensaio eletroquímico



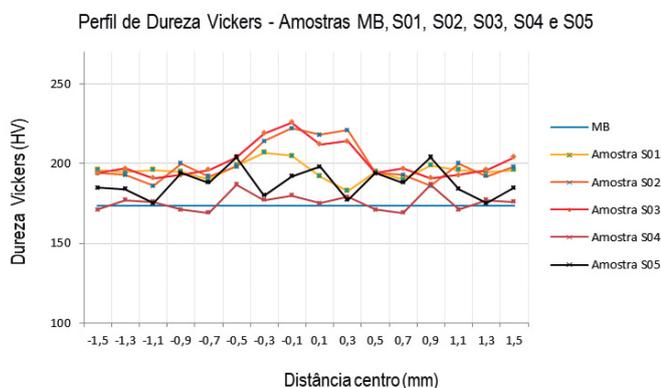
Perfil de dureza

Os ensaios de microdureza realizados com a finalidade de definir um perfil dessa propriedade mecânica nas amostras estudadas teve como ponto de partida o centro da solda de cada exemplar. A partir desse ponto central, um espaçamento diferente foi definido para cada energia de soldagem (pois cada energia de soldagem gerou uma região de solda de tamanho distinto), visando à coleta de quatro medidas de dureza na zona fundida e três para as outras regiões (zona termicamente afetada ou região próxima à solda e metal base) onde foi possível tal definição.

A Figura 13 mostra o comparativo entre as amostras soldadas estudadas e a de metal como recebido. Todas as amostras soldadas obtiveram valores de dureza maiores do que a do metal como recebido, sobretudo nas regiões de solda. Nas amostras S02 e S03, obteve-se um aumento na região da solda de 14,7% e 12,4% na dureza com relação às regiões afastadas da solda, respectivamente. Para a amostra S05, que apresentou ZTA, esse aumento foi de 6,1%.

É possível afirmar que o processo de soldagem TIG, na faixa de energia de soldagem aplicada nesse estudo, não é prejudicial para a dureza do material. Observa-se que, na faixa de 0,1000 KJ/mm a 0,1500 KJ/mm, a dureza tende a se aproximar mais dos resultados obtidos para o metal como recebido, sendo mais indicado para soldagem.

Figura 13 – Comparativo entre os perfis de dureza das amostras estudadas (material como recebido) e das amostras soldadas



CONCLUSÕES

É possível concluir, analisando os resultados da caracterização microestrutural, caracterização eletroquímica e ensaios de dureza das amostras do aço inoxidável austenítico AISI 316L estudadas, após soldagem autógena em diferentes faixas de energia, que as amostras soldadas com as menores energias – S01(0,0659 KJ/mm), S02 (0,0775 KJ/mm) e S03 (0,0904 KJ/mm) – apresentaram pequena profundidade de solda. Nas regiões de solda, as amostras S02 e S03 apresentaram um tamanho médio de grãos austeníticos de 7,9 µm e 10,9 µm, sendo estes de morfologia equiaxiais. Com o aumento da energia de soldagem, a taxa de resfriamento é mais lenta, gerando grãos maiores. Esse aumento da profundidade da solda resultando em grãos equiaxiais menores que os do material como recebido (amostra MB) indicou uma pequena piora nos valores de Ecorr e Epite.

Além disso, percebeu-se que a amostra S04 (0,1035 KJ/mm) apresentou distribuição e

morfologia heterogênea de grãos na região de solda (grãos colunares e equiaxiais). Apesar do tamanho (pequeno) dos grãos equiaxiais obtidos, o tamanho dos grãos colunares implicou um aumento do Ecorr.

A amostra S05 (0,1549 KJ/mm) apresentou regiões de zona fundida, zona termicamente afetada e metal base bem definidas. Tal morfologia implicou melhora do Ecorr e do Epite. Em tese, o aço inoxidável AISI 316L, nas dimensões amostrais estudadas no presente trabalho, poderia ser soldado pelo processo TIG sem metal de adição, com a energia de 0,1549 KJ/mm, sem comprometer suas propriedades de corrosão.

Observando os valores de dureza obtidos para o tubo utilizado e a faixa de energia de soldagem aplicada neste trabalho, é possível afirmar que a soldagem TIG não afeta as propriedades mecânicas do metal estudado de maneira negativa. Nas amostras S01, S02, S03 e S04, que não apresentaram ZTA, a dureza aumentou na ZF com relação ao MB (chegando a 14,7% de

aumento na amostra S02). A amostra S05, que apresentou tanto ZF quanto ZTA bem definidas, também apresentou aumento da dureza nessas regiões – tendo 6,1% de aumento médio ao longo dessas regiões. Os resultados corroboram com as conclusões oriundas das caracterizações microestruturais e eletroquímicas que indicam que a energia de soldagem de 0,1549 KJ/mm (amostra S05) pode ser utilizada para um tubo de AISI 316L das dimensões apresentadas neste estudo, sem comprometer sua integridade física, nem suas propriedades eletroquímicas e mecânicas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

REFERÊNCIAS

- ABOUT CORROSION. Disponível em: <https://www.aboutcorrosion.com/2014/04/13/howto-determine-pitting-and-repassivation-potentials>. Acesso em: 17 fev. 2018.
- AZOM. Stainless Steel – Grade 316L – Properties, Fabrication and Applications (UNS S31603). Disponível em: http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2382#_Mechanical_Properties. Acesso em: 3 maio 2017.
- CARBÓ, H. M. *Aços inoxidáveis: aplicações e especificações*. São Paulo: ArcelorMittal Inox Brasil, 2008.
- CHIAVERINI, V. *Aços e ferros fundidos*. 7. ed. São Paulo: ABM, 2005.
- DADFAR, M.; FATHI, M. H.; KARIMZADEH, F.; DADFAR, M. R.; SAATCHI, A. Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316L stainless steel. *Materials Letters*, v. 61, p. 2.343-2.346, may 2007.
- FAVORIT. Aço AISI 316/AISI 316L. Disponível em: <http://www.favorit.com.br/produtos/acos-inoxidaveis/aco-aisi-316-aisi-316-l>. Acesso em: 7 mar. 2017.
- FONSECA, G. S.; BARBOSA, L. O.; FERREIRA, E. A.; XAVIER, C. R.; CASTRO, J. A. Microstructural, Mechanical, and Electrochemical Analysis of Duplex and Superduplex Stainless Steels Welded with the Autogenous TIG Process Using Different Heat Input. *Metals*, 7, 538, 2017.
- GENTIL, V. *Corrosão*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- MOHAMMED, G. R.; ISHAK, M.; AQIDA, S. N.; ABDULHADI, H. A. Effects of Heat Input on Microstructure, Corrosion and Mechanical Characteristics of Welded Austenitic and Duplex Stainless Steels: A Review. *Metals*, 7, 39, 2017.
- SILVA, I. L. A. D. *Efeito da Temperatura na Microestrutura e Oxidação de um Aço Inoxidável Superduplex*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2010.
- SOLDOR. Aprenda a diferença entre o aço inox 304 e 316. Disponível em: <http://soldor.com.br/informativos/aprenda-a-diferenca-entre-aco-inox-304-e-316/>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- SOLTYSIAK, R.; GIĘTKA, T.; SOLTYSIAK, A. The effect of laser welding power on the properties of the joint made of 1.4462 duplex stainless steel. *Advances in Mechanical Engineering*, v. 10(1), p. 1–12, 2018.
- WOLYNEC, S. *Técnicas eletroquímicas em corrosão*. São Paulo: Edusp, 2003.
- YURTISIK, K.; TIRKES, S.; DYKHNO, I.; GUR, C. H.; GURBUZ, R. Characterization of Duplex Stainless Steel Weld Metals Obtained by Hybrid Plasma-Gas Metal Arc Welding. *Soldagem & Inspeção*, v. 18, n. 3, jul./set. 2013.

DADOS DOS AUTORES

Natasha da Fonseca (natashafonseca@id.uff.br). Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.

Gláucio Soares da Fonseca, D.Sc. (glaucio@metal.eeimvr.uff.br). Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda/RJ.

Elivelton Alves Ferreira, D.Sc. (eliveltonalves@id.uff.br). Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda/RJ.

POSICIONAMENTO DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Felix do Rego Barros

William Vairo dos Santos

Alexandre Silva de Lima

RESUMO: O objetivo deste trabalho é posicionar um módulo solar fotovoltaico na direção do sol mesmo em dias encobertos. O sistema proposto se baseia nas equações de Duffie e Beckman para definir o Ângulo de Declinação Solar e o Ângulo de Tempo Solar. As variáveis independentes utilizadas no equacionamento são: o número do dia do ano (NDA), a latitude do local de instalação do módulo solar, e a data-hora contendo o dia, mês, hora e minuto. A data e hora atuais são obtidas por meio de um circuito do tipo Relógio de Tempo Real (RTC), que fornece essas informações e é alimentado através de uma bateria de lítio com duração de dez anos de vida útil. O protótipo é equipado com uma interface para a inserção dos valores das variáveis além de verificar o *status* do sistema. A sua alimentação de energia é obtida diretamente pelo módulo solar. A movimentação do módulo se faz através de um suporte com dois graus de liberdade (*pan* e *tilt*), um microcontrolador e dois motores de passo, um para cada grau de liberdade.

Palavras-chave: Energia solar. Posicionamento. Fotovoltaica.

ABSTRACT: This paper aims at presenting an application developed by an electronic circuit based on microcontroller and a circuit of Real Time Clock (RTC), in addition to other peripheral and power circuits. Its purpose is to position a photovoltaic solar module so that it is pointed to the position of the Sun even on overcast days. The system is based on the mathematical equations of Duffie & Beckman, that defines the Solar Declination Angle and the Solar Time Angle. These equations have as independent variables: the number of the day of the year; the latitude of the solar panel installation site; and the date-time containing day, month, hour, and minute. The date-time is obtained by means of a RTC – type circuit that generates this information, is powered by a lithium battery with a minimum duration of ten years and can be easily replaced. The prototype is equipped with an interface that inserts the data, such as the date-time and latitude of the installation site of the module and an alphanumeric display to aid in the insertion of data and verification of the status of the system and its energy consumption is obtained directly from the solar module. The movement of the module, to obtain the correct orientation of the module, is obtained from a mechanical assembly with two degrees of freedom of rotation, two step motors and managed by supervisory software to optimize the process.

Keywords: Solar Energy. Tracking. Photovoltaic.

INTRODUÇÃO

Os módulos solares fotovoltaicos são uma fonte de energia limpa e sustentável que estão se expandindo em todo o mundo. A radiação solar é a fonte primária de todos os processos do planeta, correspondendo a 99,7% do total, e apresenta variações sazonais e espaciais que caracterizam o nível de energia de cada região geográfica.

A energia solar é uma fonte inesgotável e abundante em países tropicais como o Brasil e em algumas regiões remotas é a única viável. O uso eficiente de módulos fotovoltaicos requer sistemas mecânicos de apontamento para rastrear a posição do Sol no céu, uma vez que a máxima geração de energia dos módulos é obtida quando os raios solares incidem perpendicularmente a estes.

Outro requisito importante desses sistemas de apontamento é o baixo consumo, de modo que o ganho obtido com estes não seja perdido na alimentação do mecanismo de apontamento.

A maioria dos sistemas de apontamento usa a radiação solar direta para corrigir o apontamento, de modo que o módulo plano fique perpendicular aos raios do Sol. Para esse fim, são utilizados fotossensores. Esse método não apresenta bons resultados em dias nublados ou encobertos, devido à difusão dos raios solares.

O método de apontamento aqui apresentado, que se baseia nas coordenadas geográficas da localização e na data e horas atuais, não se baseiam em fotossensores e funciona perfeitamente em dias nublados.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

As estações do ano resultam da inclinação da linha do equador da Terra e da sua órbita elíptica em torno do Sol e não da distância Terra-Sol.

A radiação solar em uma determinada localização geográfica depende de três fatores principais: sua latitude, a data e a hora atual.

A energia solar (relacionada à radiação solar) em uma superfície plana e horizontal, localizada acima da atmosfera (isto é, fora de sua influência) depende da latitude (θ), da declinação solar (δ) e do ângulo zenital (Z).

A relação entre radiação solar local e a constante solar é dada por [1], [2], [3]:

$$I_z = I_n \cdot \cos(Z) \quad (1)$$

onde:

$I_n = I_0 =$ constante solar ($I_0 \approx 1,367 \text{ W/m}^2$);

$Z =$ ângulo zenital;

$\cos(Z) = \sin(\theta) \sin(\delta) + \cos(\theta) \cos(\delta) \cos(h)$;

$\theta =$ latitude (0 a $+90^\circ$);

$\delta =$ declinação solar (0 a $\pm 23,45^\circ$) = $23,45 \sin[(360/365)(\text{DOY}-80)]$;

DOY = dia do ano; e

$H =$ ângulo horário = [(hora local - 12) 15].

A maneira mais eficiente de se capturar a energia da radiação solar, a partir de um módulo solar fotovoltaico plano, é posicioná-lo perpendicularmente aos raios solares ($Z=0$ e $I_z=I_n$). Para isso, é necessário o ajuste constante do apontamento do módulo ao longo do dia e ao longo do ano, devido à constante mudança do ângulo de incidência solar.

Para cada local em particular na superfície da Terra, sabendo sua latitude, data e hora (hora real, não considerando horário de verão), é possível determinar o ângulo de incidência solar para esse local. Dessa forma, desenvolveu-se um sistema mecânico com dois graus de liberdade de rotação que permite apontar o módulo solar perpendicularmente aos raios solares. A combinação de movimentos nesses dois graus de liberdade permite compensar a variação do ângulo de incidência solar devido à variação do ângulo horário (rotação da Terra) e a variação do ângulo de declinação solar ao longo das estações do ano.

Uma vez que o posicionamento do sol é perfeitamente previsível, é possível se fazer o apontamento com base na latitude local e data-hora com um controlador de malha aberta.

O sistema desenvolvido é controlado por um microcontrolador que tem como periféricos: um relógio de tempo real (RTC), uma interface de potência para controlar os motores de passo (total de dois), um teclado numérico e um mostrador alfanumérico do tipo LCD.

Através do teclado e do mostrador LCD, é possível se configurar o sistema pela inserção de data e hora para o ajuste do RTC e a inserção da latitude local. Com essas informações, é possível rastrear a posição solar ao longo do dia e das estações do ano.

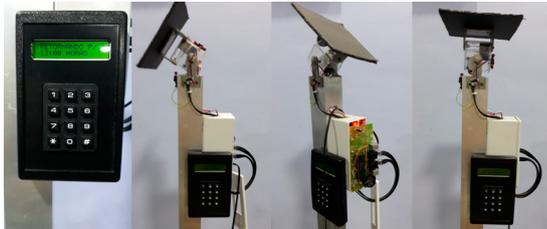
O programa de controle embarcado (*firm-ware*) foi escrito em linguagem C e gravado em um microcontrolador de consumo extra-baixo.

O sistema opera em intervalos regulares de quinze minutos para fazer a correção do apontamento.

tamento do módulo solar, permanecendo desligado entre as correções. O objetivo é minimizar o consumo de energia, o qual é obtido a partir do próprio módulo solar fotovoltaico.

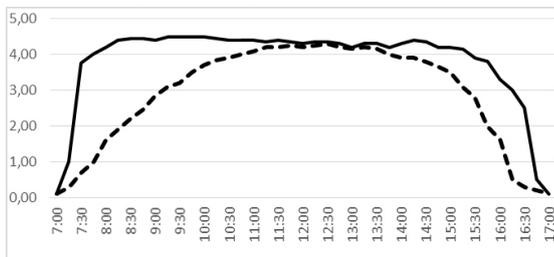
No pôr-do-sol, o sistema retorna à posição inicial (amanhecer) e desliga-se, ligando-se novamente somente na próxima madrugada. A Figura 1 mostra o protótipo do sistema de rastreamento, que foi utilizado para se validar o circuito, o *firmware* e o modelo cinemático do sistema.

Figura 1 – Protótipo do sistema de rastreamento



Foram utilizados dois módulos fotovoltaicos idênticos, da marca Yingli Solar, modelo YL95P-17b 2/3 [4], para os testes de eficiência na geração fotovoltaica. Um dos módulos foi fixado com inclinação em relação à horizontal aproximadamente igual à latitude local (-23°) e ângulo zenital nulo. O outro foi controlado pelo sistema de rastreamento com dois graus de liberdade. Os resultados são mostrados no gráfico da Figura 2.

Figura 2 – Comparação entre um painel fixo (linha tracejada) e outro com sistema de rastreamento com dois graus de liberdade (linha sólida)



No gráfico da Figura 2, a linha tracejada representa a corrente fornecida pelo módulo fixo e a linha sólida, o módulo com sistema de rastreamento com dois graus de liberdade. A horizontal representa a hora, e a vertical, a corrente fornecida em ampères. A tensão fornecida pelo módulo é de 16,75V.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de apontamento em questão proporcionou um aumento médio entre 25% e 30% na geração de energia do módulo foto-

voltaico, já descontando o consumo do sistema de acionamento e o controle do apontador em comparação com um sistema fixo.

O rastreamento de posição do Sol em relação às estações do ano apresentou ganhos de aproximadamente 5% na geração de energia. Dessa forma, um sistema de apenas um grau de liberdade poderia ser utilizado para rastrear o movimento do Sol em função da hora do dia, o que simplificaria o projeto mecânico.

A eficiência do sistema não sofre redução significativa se a correção do apontamento for feita de hora em hora entre as 7h e as 17h, em comparação com as correções mais frequentes, e entre as 6h e as 18h, o que simplificaria ainda mais o projeto mecânico do rastreador.

O sistema de controle, por ser feito em malha aberta, apresenta estabilidade e minimiza o consumo de energia na movimentação mecânica do módulo.

O consumo devido ao microcontrolador e seus periféricos é inferior a 10mAh ao longo de um dia. A maior parte do consumo do sistema é devido aos motores de passo utilizados no sistema de rastreamento, cujo consumo é inferior a 2% do produzido pelo módulo durante um dia de sol normal.

O circuito de controle tem capacidade de comunicação através de uma interface serial e pode enviar informações de tensão e corrente geradas pelo módulo ao longo do dia, bem como outras informações relevantes, para um *software* de supervisão executado em um PC, para fins de registro de dados.

CONCLUSÕES

O sistema de apontamento mostrado é capaz de rastrear o movimento do Sol ao longo do dia e das estações com estabilidade e eficiência energética.

O uso de um grau de liberdade obtém de 19% a 25% de aumento na geração de energia de painéis solares fotovoltaicos e o uso de dois graus de liberdade obtém de 25% a 30%.

O rastreamento do Sol ao longo do dia, limitado a um período entre as 7h e as 17h, não diminui consideravelmente a eficiência e reduz a complexidade do sistema de controle e do projeto mecânico. Além disso, reduz o custo global e o consumo de energia devido à movimentação dos motores.

REFERÊNCIAS

- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken/New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. A. *LCE-306 – Notas de aula*. ESALQ/USP, Piracicaba/SP, Brasil, 2009. Disponível em: http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula5_2012.pdf. Acesso em: 1 mar. 2017.
- SOLAR BRASIL. Módulo de 95W Yingli – folha de especificações técnicas do fabricante Yingli Solar. Disponível em: http://www.solarbrasil.com.br/images/solarbrasil/downloads/Yingli_Módulo_de_95W.pdf. Acesso em: 27 mar. 2018.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e climatologia*. Versão digital 2. Recife/PE: 2006. Disponível em: http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 1 mar. 2017.

DADOS DOS AUTORES

Felix do Rego Barros, M.Sc. (felixregobarros@gmail.com). Departamento de Automação Industrial Cefet/RJ *campus* Maria da Graça.

William Vairo dos Santos, M.Sc. (wvairo@oi.com.br). Departamento de Automação Industrial Cefet/RJ *campus* Maria da Graça.

Alexandre Silva de Lima, D.Sc. (alexandre.silva.lima@cefet-rj.br). Departamento de Engenharia Mecânica Cefet/RJ.

ALGORITMO DE RASTREAMENTO ROBUSTO PARA SISTEMAS NÃO LINEARES

Luiz Carlos Pedroza

Bruno Campos Pedroza

RESUMO: Neste artigo, uma nova metodologia para o rastreamento robusto de trajetórias é apresentado. Diferentemente dos métodos tradicionais de Controle Robusto, a metodologia proposta não parte da função de Lyapunov para verificar a robustez do sistema, mas, ao contrário, busca uma trajetória possível associada à trajetória desejada que satisfaça as condições de robustez. A metodologia é exemplificada com sua aplicação ao problema do pêndulo invertido atuado por motor DC.

Palavras-chave: Controle Robusto. Rastreamento de trajetória. Sistemas não lineares.

ABSTRACT: This paper shows a new robust tracking methodology. Unlike other robust controllers method this one does not deal with Lyapunov function for verifying robustness. In fact it seeks out a possible trajectory associated to the wished trajectory that satisfies the robustness condition. The methodology is exemplified applying it to the inverted pendulum driven by DC motor problem.

Keywords: Robust Control. Trajectory tracking. Nonlinear systems.

INTRODUÇÃO

A precisão no rastreamento de trajetória é um dos principais requisitos de um bom algoritmo de controle para sistemas dinâmicos. Alcançá-la em presença de uma gama de incertezas de modelo e medidas, concomitantemente satisfazendo questões como baixa demanda computacional e garantia de execução em tempo tem sido um desafio no desenvolvimento de um bom algoritmo de controle para sistemas de dinâmica complexa.

Inicialmente, o Controle Adaptativo foi proposto para abordar esse problema, porém mostrou-se mais apropriado à aplicação quando da existência de incertezas paramétricas (NARENDA; AMASWAMY, 1989). A partir deste, o Controle Robusto Adaptativo foi desenvolvido para garantir que as propriedades de malha fechada sejam mantidas não somente na presença de incertezas paramétricas, mas também na de erros de modelagem, ruídos aditivos e dinâmicas não levadas em conta pelo modelo (IOANNOU; SUN, 1995) (IOANNOU; DATTA, 1991). Da mesma forma, técnicas baseadas em desigualdades matriciais lineares (LMI) têm sido desenvolvidas e comumente aplicadas no tratamento desses problemas (GONZALES *et al.*, 2009; GARONE; NTOGRAMATZIDIS, 2015). Outra abordagem consiste em técnicas que se baseiam na aplicação dos filtros de Kalman Unscented (UKF) para estimação de não linearidades (ZHOU *et al.*, 2007). Contudo, apesar de eficientes, essas técnicas demandam alto recurso computacional, o que as tornando inapropriadas para implementação em sistemas embarcados.

Por outro lado, o Controle por Modos Deslizantes, técnica desenvolvida na União Soviética (UTKIN, 1997; YOUNG; DRAKUNOV, 1992; FILIPOV, 1960; AIZERMANN; GANTMAKHER, 1957) demandam bem menos computação. Contudo, sua aplicação clássica apresenta limitações, tais como batimentos e sinais de controle superdimensionados (SLOTINE; LI, 1991). Para contornar esse problema, propôs-se o uso de observadores de estado para minimizar o problema dos batimentos (BONDAREV *et al.*, 1985) junto com o uso de um saturador linear para limitar os sinais de atuação, o que, por outro lado, origina uma faixa limitada de precisão (SLOTINE; COETSEE, 1986). Algumas outras técnicas foram propostas para contornar esse problema, tais como a utilização de técnicas Fuzzy (BESSA; BARRETO, 2010).

Este artigo é baseado no artigo de Pedroza e Pedroza (2001), que apresenta uma nova apro-

ximação para o problema de Controle Robusto para sistemas discretos o qual se situa entre o Controle Adaptativo e o Controle por Modos Deslizantes. A principal diferença dessa abordagem está no fato de não se basear em funções de Lyapunov para proposição do rastreador, mas sim de se fazer o caminho inverso, buscando-se uma trajetória possível, que não seja necessariamente a trajetória desejada, de forma que esta sim possa ser rastreada mesmo na presença das incertezas do modelo.

Na segunda seção, apresenta-se a formulação teórica do problema. Na terceira, é apresentado um teorema que formaliza a relação entre a trajetória possível e a desejada, originando o algoritmo de controle proposto. Na quarta seção, propõe-se uma forma simples de estimar os parâmetros de um modelo simplificado. Como se verá, este estimador reduzirá em muito o tempo de processamento do algoritmo de controle, tornando sua aplicação viável em problemas reais. A quinta seção exemplifica a aplicação do controlador proposto no controle de um pêndulo invertido atuado por motor DC (KAJIWARA *et al.*, 1999).

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Seja o sistema não linear descrito na equação 1 abaixo, de única saída e entrada.

$$\begin{cases} y(t) = C(t) \cdot x(t) \\ x = A(t,x) + B(t,x)u(t) \end{cases} \quad (1)$$

onde: são vetores dependentes do tempo e do estado do sistema; $u(k) y(k) \in \mathfrak{R}$; $A(t,x) B(t,x) \in \mathfrak{R}^n$ $C(t) x(t) \in \mathfrak{R}^n$

Este sistema pode ser discretizado como mostra a equação 2:

$$y(k+1) = \alpha(k) + \beta(k) \cdot u(k), \quad (2)$$

onde: $\alpha(k), \beta(k) \in \mathfrak{R}$.

O problema de rastreamento de trajetória pode ser colocado como: possuindo valores estimados $\alpha'(k)$ e $\beta'(k)$ de $\alpha(k)$ e $\beta(k)$, encontre o valor de $u(k)$ que faz o sistema rastrear a trajetória desejada $y^D(k)$. Pelo fato de a estimação dos parâmetros ser geralmente imprecisa, existirá um erro no percurso no rastreamento da trajetória desejada definido pela equação 3 como:

$$E(k) = |y^D(k) - y(k)|. \quad (3)$$

Para garantir que o sistema irá convergir à trajetória desejada, é suficiente se garantir que:

$$E(k+1) < E(k). \quad (4)$$

Substituindo a equação (2) na equação (4), temos, depois de algumas manipulações algébricas, que:

$$\frac{y^D(k+1) - \alpha(k)}{\beta(k)} - \left| \frac{E(k)}{\beta(k)} \right| < u(k) < \frac{y^D(k+1) - \alpha(k)}{\beta(k)} + \left| \frac{E(k)}{\beta(k)} \right| \quad (5)$$

Pela equação (5), nota-se que o valor $u^R(k) = \frac{y^D(k+1) - \alpha(k)}{\beta(k)}$, quando escolhido como $u(k)$, zera o erro de rastreamento $E(k+1)$. Porém, como os valores reais de $\alpha(k)$ e $\beta(k)$ não são conhecidos, suas estimações são utilizadas para o cálculo de $u(k)$, conduzindo a um valor $u^c(k)$ diferente de $u^R(k)$, como mostra a equação 6.

$$u^c(k) = \frac{y^D(k+1) - \alpha'(k)}{\beta'(k)} \quad (6)$$

Pode-se notar, da equação (5), que $u^c(k)$ só satisfará a equação (4) se a desigualdade (7) for satisfeita.

$$\left| u^c(k) - u^R(k) \right| < \left| \frac{E(k)}{\beta(k)} \right|, \quad (7)$$

Ou, em outras palavras, se a desigualdade 8 for satisfeita.

$$\left| \frac{y^D(k+1) - \alpha'(k)}{\beta'(k)} - \frac{y^D(k+1) - \alpha(k)}{\beta(k)} \right| < \left| \frac{y^D(k) - y(k)}{\beta(k)} \right|. \quad (8)$$

RASTREAMENTO DE TRAJETÓRIA

Dos resultados já discutidos na seção anterior, pode-se perceber que, salvo nas situações em que não houver erro na estimação do modelo, sempre haverá um erro de rastreamento quando do uso da equação (6) para o cálculo da entrada. Usando-se ferramentas probabilísticas, é possível definir os erros máximos de estimação, de forma que exista um ε e um γ nas equações 9 e 10 que satisfaçam.

$$\left| \alpha(k) - \alpha'(k) \right| < \varepsilon \quad (9)$$

e

$$\left| \beta(k) - \beta'(k) \right| < \gamma \quad (10)$$

onde $\varepsilon, \gamma \in \mathbb{R}^+$.

Para garantir que $E(k+1) < E(k)$ quando dessas incertezas, propõe-se calcular, em todas as interações k , uma gama de pontos possíveis de serem alcançados, $y^p(k+1)$, e desses postos de definir um ponto alvo $y^r(k+1)$ que esteja de acordo com $y^p(k+1)$. Todos os pontos $y^p(k+1)$ devem satisfazer a condição dada pela equação (8), trocando-se $\alpha(k)$ e $\beta(k)$ por suas piores estimativas. Assim sendo, esses pontos possíveis devem satisfazer o conjunto das quatro inequações escritas simplificadaamente na equação 11:

$$\left| \frac{y^p(k+1) - \alpha'(k)}{\beta'(k)} - \frac{y^p(k+1) - (\alpha'(k) \pm \varepsilon)}{(\beta'(k) \pm \gamma)} \right| < \left| \frac{E(k)}{(\beta'(k) \pm \gamma)} \right| \quad (11)$$

resultantes das combinações de sinais de ε e γ .

Após a escolha de $y^r(k+1)$, a entrada $u^c(k)$ que deve ser aplicada ao sistema será calculada pela equação 12 abaixo,

$$u^c(k) = \frac{y^r(k+1) - \alpha'(k)}{\beta'(k)}, \quad (12)$$

resultante da substituição do $y^p(k+1)$ por $y^r(k+1)$ na equação (6).

Quando do cálculo de $y^p(k+1)$ duas situações podem ocorrer: 1º) $y^p(k+1)$ poderá não pertencer ao conjunto $y^p(k+1)$; nesse caso, o ponto que pertence a $y^p(k+1)$ e está mais próximo de $y^p(k+1)$ é escolhido como alvo $y^r(k+1)$; 2º) considerando-se os erros ε , γ e $E(k)$, o conjunto de inequações (11) pode não ter soluções no conjunto dos reais; nesse caso, a parte imaginária do resultado deve ser desprezada e a parte real utilizada como $y^p(k+1)$. Em ambos os casos, o $u^c(k)$ da equação 12 provavelmente faria com que $E(k+1) > E(k)$. Contudo, esse incremento no erro de rastreamento daria mais liberdade, no próximo passo, para a solução apropriada das inequações (11).

Nota-se que, para a solução das inequações em (11), necessita-se de razoável recurso computacional. Uma simplificação desses cálculos é proposta baseando-se no teorema abaixo.

Teorema 1

Se

(a) $\exists \beta^{\min}, \beta^{\max} \in \mathfrak{R}$, então:

$$\begin{cases} \text{sigal}(\beta^{\min}) = \text{sigal}(\beta^{\max}) \\ \left| \beta^{\min} \right| < \left| \beta^{\max} \right| \end{cases}; \quad (13)$$

$$\left(\beta(k), (\beta'(k) \pm \gamma) \right) \in \left(\beta^{\min}, \beta^{\max} \right)$$

$$(b) \left| y^p(k+1) - \alpha'(k) \right| \geq \left| \frac{\beta'(k)}{\beta'(k) \pm 2\gamma} \right| \cdot \varepsilon, \text{ onde:} \\ \left| \beta'(k) \right| > 2\gamma. \quad (14)$$

então:

$$\left| \frac{y^p(k+1) - \alpha'(k)}{\beta^{\min}} \right| < \left| \frac{E(k)}{\beta^{\max}} \right| \Rightarrow \left| \frac{E(k)}{(\beta'(k) \pm \gamma)} \right| > \left| \frac{y^p(k+1) - \alpha'(k)}{\beta'(k)} - \frac{y^p(k+1) - (\alpha'(k) \pm \varepsilon)}{(\beta'(k) \pm \gamma)} \right| \quad (15)$$

prova em Pedroza e Pedroza (2001).

Na prática as premissas (a) e (b) não são difíceis de serem satisfeitas porque o sinal de $\beta(k)$ é geralmente conhecido *a priori* e ε e γ são geralmente pequenos.

Do Teorema e da equação (11), pode-se concluir que para construir um conjunto de saídas possíveis, $y^p(k+1)$, que garanta $E(k+1) < E(k)$ é necessário apenas se solucionar a inequação quadrática $\left(\frac{y^p(k+1) - \alpha'(k)}{\beta^{\min}} \right)^2 < \left(\frac{E(k)}{\beta^{\max}} \right)^2$, (16) o que demanda bem menos esforço computacional. Após obter o conjunto solução de (16), escolhe-se neste conjunto $y^p(k+1)$ de acordo com o que já foi comentado.

Tendo como meta simplificar, propõe-se, a seguir, um algoritmo em que, no seu quinto passo, será solucionada apenas a inequação (16), indiferentemente se a premissa (b) da equação 14 seja satisfeita ou não. É verdade que, nesse caso, o erro de rastreamento pode até aumentar. Contudo, esse aumento de erro dará mais liberdade para a satisfação da premissa (b) no próximo passo do algoritmo.

Algoritmo

1. Faça $k=1$;
2. Escolha valores para β^{\min} , β^{\max} ;
3. Calcule $E(k)$;
4. Estime $\alpha'(k)$ e $\beta'(k)$;
5. Encontre, usando (16), o conjunto das saídas possíveis $y^p(k+1)$;
6. Escolha como $y^T(k+1)$ o elemento pertencente a $y^p(k+1)$ mais próximo de $y^d(k+1)$;
7. Calcule, usando (12), o $u^c(k)$ a ser introduzido no sistema;
8. Faça $k=k+1$ e vá para 3.

ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS

Nesta seção, discute-se uma forma simplificada de estimar os parâmetros $\alpha(k)$ e $\beta(k)$ do modelo dado em (2), a fim de garantir a apli-

cação do método de rastreamento proposto a problemas em tempo real. Quando o sistema em questão é linear, pode-se utilizar os filtros de Kalman para realizar essa estimativa, porém, quando estão presentes não linearidades, essa metodologia falha. Não obstante, devido à robustez do rastreador proposto a erros de estimação, no espírito das equações (9) e (10), pode-se propor uma metodologia de estimação simplificada, dito *estimador tolo*, que, apesar de não muito preciso, viabilizará a aplicação do rastreador robusto em problemas reais em que o tempo de processamento é uma questão-chave.

Estimador tolo

A partir de uma informação prévia sobre β^{\min} , faz-se $\beta^{\min} = \beta'(k)$ e estima-se para $\alpha(k)$ o valor

$$\alpha(k) = y(k) - \beta^{\min} u(k-1) \quad (17)$$

Note, pela equação (2), que u e y usados são valores atrasados da entrada e da saída. Neste caso, para garantir a existência dos valores máximos de erro de estimação no sentido das equações (9) e (10), algumas condições têm que satisfeitas.

- i) Em primeiro lugar, deve existir um η suficientemente pequeno, tal que a desigualdade (equação 18):

$$|\alpha(k+1) - \alpha(k)| \leq \eta, \quad (18)$$

uma razoável suposição para sistemas com altas taxas de amostragem e dinâmica razoavelmente lenta e contínua.

- ii) Em segundo lugar, deve haver um σ suficientemente pequeno, tal que a desigualdade (equação 19):

$$|\beta - \beta^{\min}| \leq \sigma \quad (19)$$

uma razoável suposição para um sistema não linear bem modelado.

- iii) Em terceiro lugar, o sistema deve ter entrada limitada (equação 20),

$$|u(k)| \leq 1, \quad (20)$$

o que é uma condição verdadeira para sistemas reais.

Manipulando as equações (1), (17), (18), (19), (20), conclui-se que

$$|\alpha(k) - \alpha'(k)| \leq (\sigma l + \eta) \quad (21)$$

A partir disso, pode-se assumir, na equação 21, que $(\sigma l + \eta) = \varepsilon$ e $\sigma = \gamma$ são os erros máximos de estimação de $\alpha(k)$ e $\beta(k)$.

Estimativa de β^{\min}

A precisão do estimador tolo baseia-se numa boa estimativa de β^{\min} , quanto melhor for esta, melhor operará o estimador. Além disso, o algoritmo de rastreamento baseia-se também numa boa estimativa de β^{MAX} , para a consequente satisfação da hipótese a) do teorema 1. Logo, como próximo passo, discute-se uma forma de se obter boas estimativas de β^{\min} e β^{MAX} .

Dado um sistema linear como na equação 22

$$\begin{cases} y(t) = Cx(t) \\ x(t) = Ax(t) + Bu(t) \end{cases} \quad (22)$$

onde, agora, diferentemente da equação 1, A, B e C são independentes de x e t . A partir de amostra desse sistema com período de h segundos, pode-se obter uma função de transferência em Z para esse sistema. O teorema 2 mostra como, a partir dessa FT, pode-se calcular, de forma fechada, o valor de β na equação 2, quando o sistema é amostrado com um período apropriado H múltiplo de h .

Teorema 2

Dada a função de transferência (equação 23)

$$y(z) = \frac{a_0 + a_{-1}z^{-1} + \dots + a_{-n}z^{-n}}{b_{m-n}z^{m-n} + b_{m-n-1}z^{m-n-1} + \dots + b_{-n}z^{-n}} u(z) \quad (23)$$

obtida a partir da discretização de (22) com período h . Se para a obtenção da equação 2 o sistema (equação 22) é amostrado com período

$$H = (m-n)h \text{ então } \beta = a_0/b_{m-n}.$$

Prova:

Da função de transferência

$$b_{m-n}z^{m-n}y(z) = \frac{a_0}{b_{m-n}}u(z) + \left(\frac{\left(\left(a_{-1}z^{-1} + \dots + a_{-n}z^{-n} \right) u(z) - \left(b_{m-n-1}z^{m-n-1} + \dots + b_{-n}z^{-n} \right) y(z) \right)}{b_{m-n}} \right) \quad (24)$$

ou aplicando a transformada Z inversa

$$y(k^* + m - n)h = a_0/b_{m-n} u(k^*h) + \alpha(u(k^* - 1)h) \dots, \quad (25)$$

$$u(k^* - n)h) y(k^* + m - n - 1)h) \dots, y(k^* - n)h)$$

onde α é uma função contendo todos os termos que não são dependentes de $u(k^*h)$.

Substituindo-se $h = H/(m-n)$ na equação (25) obtém-se:

$$y(k^*/(m-n) + 1)H = a_0/b_{m-n} u(k^*/(m-n)H) + \alpha(k^*/(m-n)H) \quad (26)$$

Assumindo-se que $k = \frac{k^*}{m-n}$ quando $y(k^*/(m-n)H) = a_0/b_{m-n} \cdot u(kH) + \alpha(kH)$, isto é, que o sistema só é amostrado uma vez em cada $(m-n)$ vezes que o h- amostrador operar, então:

$$y((k+1)H) = a_0/b_{m-n} \cdot u(kH) + \alpha(kH);$$

que é a equação 2 com o período de amostragem H explícito. ■

Contudo, um sistema não linear não pode ser expresso em função de transferência. Não obstante, pode-se, em certas condições, linearizá-lo ao redor de um ponto de operação e, da função de transferência aí obtida, aplicando-se o teorema 2, obter-se uma estimativa $\beta'(k)$ de $\beta(k)$. Dependendo da não linearidade do sistema, essa estimativa se afasta mais ou menos do valor real. Contudo, se o sinal de $\beta(k)$ é conhecido, como suposto no teorema 1, existem $\psi < 1$ e $\zeta > 1$ positivos garantindo a relação:

$$\psi\beta(k) < \zeta\beta(k).$$

Assume-se, então, que:

$$\beta^{\min}(k) = \psi\beta(k) \text{ e } \beta^{\text{MAX}}(k) = \zeta\beta(k) \quad (27)$$

EXEMPLO NUMÉRICO

Como exemplo, aplica-se o algoritmo de controle proposto ao problema do *Pêndulo Invertido atuado por motor DC (PIADC)* (KAJIWARA *et al.*, 1999). Aqui, o pêndulo é a haste superior e, como mostram as figuras 1 e 2, é movimentado pelo braço inferior atuado pelo motor DC. O modelo dinâmico do comportamento do PIADC é descrito pela equação 28. Como se pode observar, esse sistema apresenta não linearidades intrínsecas associadas aos parâmetros do modelo.

$$\begin{cases} Ax(t) = Bx(t) + Cu(t) \\ y(t) = \eta_1(\theta_1 + \theta_2) + \eta_2(\psi_1 + \psi_2) \end{cases} \quad (28)$$

Onde:

$$A = \begin{bmatrix} La & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{34} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -Ra & -nK_2 & 0 & 0 & 0 \\ nK_1 & b_{22} & b_{23} & 0 & 0 \\ 0 & b_{32} & -Ra_2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ 0 & 0 & 0 & c_{34} & c_{35} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$a_{22} = Jh_1 + n^2 \cdot (Jn + Jr_1) + Jr_2 + l_1^2 \cdot (Mh_1 + 4 \cdot Me + 4 \cdot Mh_2 + 4 \cdot M)$$

$$a_{23} = l_1 \cdot l_2 \cdot \cos(\theta_2) \cdot 2 \cdot Mh_2 + 4 \cdot M$$

$$a_{32} = l_1 \cdot l_2 \cdot \cos(\theta_2) \cdot 2 \cdot Mh_2 + 4 \cdot M$$

$$a_{33} = Jh_2 + l_2^2 \cdot (Mh_2 + 4 \cdot M);$$

$$b_{22} = -(n^2 \cdot (Rm + Rr_1) + Rr_2 + Ra_2)$$

$$b_{23} = Ra_2 + (\theta_1 + \theta_2) \cdot (l_1 l_2 \cdot \sin(\theta_2)) \cdot (2 \cdot Mh_2 + 4 \cdot M)$$

$$b_{32} = Ra_2 - \theta_2 \cdot (l_1 l_2 \cdot \sin(\theta_2)) \cdot (2 \cdot Mh_2 + 4 \cdot M);$$

$$c_{22} = -l_1 \cdot \sin(\theta_1); c_{23} = -2 \cdot l_1 \cdot \sin(\theta_1); c_{24} = -2 \cdot l_1 \cdot \sin(\theta_1);$$

$$c_{25} = -2 \cdot l_1 \cdot \sin(\theta_1); c_{34} = -l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2);$$

$$c_{35} = -2 \cdot l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2);$$

$$u = \begin{bmatrix} e \\ Mh_1 \cdot g \\ Mh_2 \cdot g \\ Me \cdot g \\ M \cdot g \end{bmatrix} \quad e \quad x = \begin{bmatrix} i \\ \omega_1 \\ (\omega_1 + \omega_2) \\ \theta_1 \\ (\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

Discriminação das variáveis

e = (tensão de entrada do motor DC)

i = (corrente no enrolamento do motor DC)

ω_1 = (velocidade no eixo do motor)

ω_2 = (velocidade na saída da caixa de redução)

τ_1 = (torque no eixo do motor)

τ_2 = (torque na saída da caixa de redução)

F_{H1} = (peso da haste 1)

F_{H2} = (peso da haste 2)

F_m = (peso da massa na extremidade da haste 2)

F_e = (peso do encoder)

θ_1 = (ângulo entre a haste 1 e o eixo horizontal)

θ_2 = (ângulo entre a haste 1 e a haste 2)

$g = 9,8m/s^2$ (aceleração da gravidade)

$Ra = 8 \Omega$ (resistência do enrolamento da armadura)

$La = 80 \times 10^{-3} H$ (indutância da armadura)

$K_1 = 100 Nm$ (constante de torque do motor)

$K_2 = 0,05 V$ (constante da força contraeletromotriz)

$l_1 = 0,20 m$ (comprimento da haste 1)

$l_2 = 0,6 m$ (comprimento da haste 2)

$Mh_1 = 0,05 kg$ (massa da haste 1)

$Mh_2 = 0,03 kg$ (massa da haste 2)

$Me = 0,02 kg$ (massa do encoder)

$M = 0,01 kg$ (massa fixada à extremidade da haste 2)

$Jh_1 = 1,5 \times 10^{-3} Kgm^2$ (momento de inércia da haste 1)

$Jh_2 = 4,8 \times 10^{-3} Kgm^2$ (momento de inércia da haste 2)

$Jn = 0,3 \times 10^{-3} Kgm^2$ (momento de inércia do motor DC)

$Jr_1 = 0 Kgm^2$ (momento de inércia da engrenagem 1)

$Jr_2 = 0 Kgm^2$ (momento de inércia da engrenagem 2)

$n = 65$ (relação de transmissão da caixa de redução)

$Rm = 0,5 \times 10^{-3} Ns/m$ (atrito viscoso do eixo do motor)

$Rr_1 = 0,5 \times 10^{-3} Ms/m$ (atrito no eixo de entrada da caixa de redução)

$Rr_2 = 0,5 \times 10^{-3} Ns/m$ (atrito no eixo de saída da caixa de redução)

$RA_2 = 8 Ns/m$ (atrito na junta B)

$RA_1 = 8 Ns/m$ (atrito na junta A)

Figura 1 – Pêndulo invertido atuado por motor DC

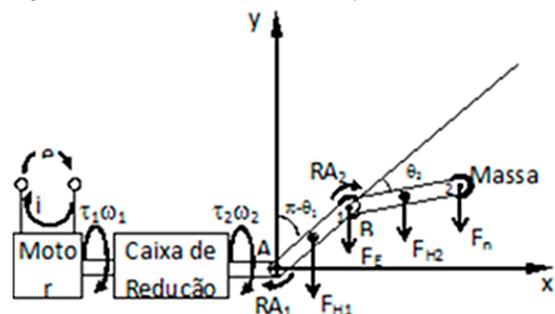
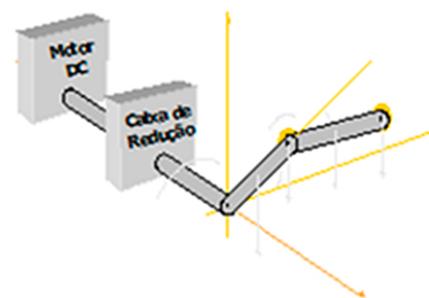


Figura 2 – Visão em perspectiva do pêndulo invertido



Note que a saída escolhida para o sistema foi uma ponderação entre o ângulo que o pêndulo faz com a vertical e a sua velocidade angular em relação à referência. Essa saída ponderada por $\eta_1=0.7$ e $\eta_2=0.3$ foi escolhida de forma a se poder contar com mais informação sobre o estado do sistema. Com isso, melhora-se a performance do rastreador, já que a formula-

ção deste foi deduzida utilizando-se apenas da relação entrada-saída do sistema.

Quanto à escolha da trajetória desejada para levar o pêndulo de uma posição inicial para outra, também em repouso, esta pode ser calculada pela equação 29:

$$\theta^D(k) = \begin{cases} \left(\frac{\theta_{\text{final}} + \theta_{\text{initial}}}{2} \right) & \text{para } k \leq \tau \\ - \left(\frac{\theta_{\text{final}} - \theta_{\text{initial}}}{2} \right) \cos(\pi k / \tau) & \text{para } k > \tau \\ \theta_{\text{final}} & \text{para } k > \tau \end{cases}$$

$$w^D(k) = \begin{cases} \frac{\pi}{\tau} \left(\frac{\theta_{\text{final}} - \theta_{\text{initial}}}{2} \right) \sin(\pi k / \tau) & \text{para } k \leq \tau \\ 0 & \text{para } k > \tau \end{cases} \quad (29)$$

$$y^D(k) = \eta_1 \theta^D(k) + \eta_2 w^D(k)$$

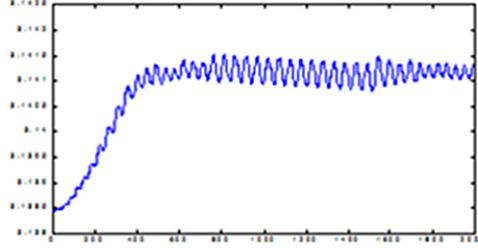
onde $\theta_{\text{initial}} = 0.99\pi \text{ rad}$, $\theta_{\text{final}} = \pi \text{ rad}$ são os ângulos inicial e final do pêndulo em relação ao eixo vertical; $\tau = 2,5 \text{ s}$ é o tempo de realização da trajetória e η_1 e η_2 são as mesmas constantes usadas na ponderação da saída do sistema (equação 28). Note que erro zero de rastreamento implica, pela equação 28 e equação 29, que $x(5) = (\theta_1 + \theta_2) = \theta^D$ e $x(3) = (\omega_1 + \omega_2) = w^D$.

Para se escolher $\beta^{\text{min}}(k)$ e $\beta^{\text{MAX}}(k)$ a serem utilizados em cada interação do algoritmo, lineariza-se o sistema (equação 28) em pontos escolhidos da trajetória desejada e, em cada um desses pontos, utiliza-se o teorema 2 para a obtenção das estimativas pontuais de $\beta^i(k)$. A seguir, a partir de uma boa dica, utiliza-se a equação 27 para se propor $\beta^{\text{min}}(k)$ e $\beta^{\text{MAX}}(k)$.

Para finalizar, a fim de garantir as equações 20 e 21, ao mesmo tempo em que se mantém o exemplo coerente com a realidade, escolheu-se limitar a tensão de entrada do motor em 12V.

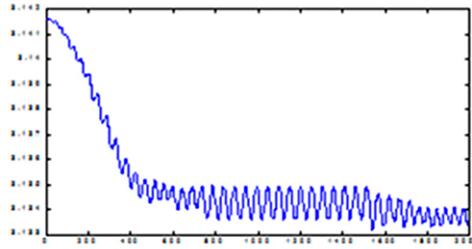
O desempenho do rastreador é mostrado na figura 3, onde a variável é inclinação da haste 2 em relação à vertical. Note, pela figura, que a haste saiu da posição inicial e chegou à final equilibrada, rastreado apropriadamente a trajetória θ^D desejada. Contudo, algumas oscilações da ordem de 5×10^{-4} são observadas. Estas se devem ao erro na estimação de $\beta^{\text{min}}(k)$ e $\beta^{\text{MAX}}(k)$: quanto melhor esta estimação, menor será a ondulação.

Figura 3 – Gráfico da posição da haste 2



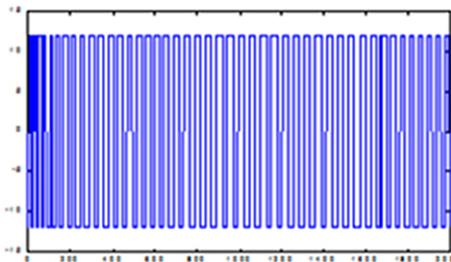
A figura 4 mostra o desempenho da haste 1. Note que esta caminha em sentido contrário ao da haste 2, como esperado.

Figura 4 – Gráfico da posição da haste 1



A figura 5 mostra como se comporta o sinal de entrada do sistema. Note que esse comportamento é muito similar ao do tradicional controle por modos deslizantes. Contudo, acredita-se que, com uma melhor estimativa de $\beta^{\text{min}}(k)$ e $\beta^{\text{MAX}}(k)$, esse comportamento seria menos chaveado e não atingiria seus valores máximos.

Figura 5 – Gráfico das tensões de entrada



CONCLUSÃO

Neste artigo, uma nova metodologia para rastreamento de trajetórias foi apresentada, mostrando como suas principais propriedades: 1) a baixa demanda por recursos computacionais, permitindo, assim, sua implementação em microcontroladores; 2) a possibilidade de geração de sinais de controle de perfis mais suaves comparativamente aos métodos de controle por modos deslizantes.

Na quinta seção, a *performance* do algoritmo foi demonstrada aplicando-se este ao problema do pêndulo invertido atuado por motor DC. Como se viu, o rastreador foi capaz de levantar o pêndulo e mantê-lo na posição desejada, mesmo na presença de não linearidades, problemas de identificação, problemas com fase mínima e problemas de ruídos introduzidos no modelo.

Os próximos passos da pesquisa consistem em verificar a aplicabilidade da metodologia a problemas reais e comparar sua *performance* com métodos tradicionais. A ampliação da metodologia a problemas multivariáveis deve também ser estudada. Outro passo da pesquisa será o de verificar a relação entre o chaveamento do sinal de atuação verificado e o refinamento do estimador utilizado.

REFERÊNCIAS

- AIZERMAN, M. A.; GANTMAKHER, F. R. On some Features of Switching in Nonlinear Control with Piecewise – Smooth Response. *Avtomatika i Telemekhanika*, v.18, n.11, 1957.
- BESSA, W. M.; BARRÊTO, R. S. S. Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control of Uncertain Nonlinear Systems. *Revista Controle & Automação*, 21(3), p. 117-125, 2010.
- BONDAREV, A. G.; BONDAREV, S. A.; KOSTYLEVA, N. Y.; UTKIN, V. I.. Sliding Modes in Systems with Asymptotic State Observers. *Automation and Remote Control*, v. 6, p. 679-684, 1985.
- FILLIPOV, A. F. Differential Equations with Discontinuous Right-hand Sides. *Mathemicheskii Sbornik*, v. 51, n. 1, 1960 (in Russian). Translated in English: *Am. Math. Soc. Trans.*, v. 62, n. 199, 1964.
- GARONE, E.; NTOGRAMATZIDIS, L. Linear Matrix Inequalities globally monotonic tracking Control. *Automatica*, v. 61, p. 173-177, 2015.
- GONZALEZ, R.; FIACCHINI, M.; ALAMO, T.; GUSMAN, J. L.; RODRIGUEZ, F. Adaptive Control for a Mobile Robot Under Slip Conditions Using LMI Based Approach. EUROPEAN CONFERENCE. Budapest, Hungary, 2009. *Proceedings [...]*, p. 1.251-1.256, 2009.
- IOANNOU, P. A.; SUN, J. *Robust Adaptive Control*. Englewood Cliffs/NJ: Prentice-Hall, 1995.
- IOANNOU, P. A.; DATTA, A. Robust Adaptive Control: A Unified Approach. *Proc. IEEE*, v. 79, n.12, p. 1.736-1.768, 1991.
- KAJIWARA, H.; APKARIAN, P.; GAHINET, P. LPV Techniques for Control of an Inverted Pendulum. *IEEE Control Systems*, p. 44-54, feb. 1999.
- NARENDRA, K. S.; ANNASWAMY, A. M. *Stable Adaptive Systems*. Englewood Cliffs/NJ: Prentice-Hall, 1989.
- PEDROZA, L. C.; PEDROZA, B. C. A Study in Discrete-Time Robust Control. *Proc. of the IASTED Int. Conf. Modeling, Identification and Control*, v. 1, Innsbruck, Austria, p. 12-16, 2001.
- SLOTINE, J.-J.; COETSEE, J. A. Adaptive Sliding Controller Synthesis for Nonlinear Systems. *Int. J. Control*, v. 43, n. 6, 1986.
- SLOTINE, J.-J.; LI, W. *Applied Nonlinear Control*. Englewood Cliffs/NJ: Prentice-Hall, 1991.
- UTKIN, V. I. Variable Structure Systems With Sliding Modes. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, v. AC-22, p. 212-222, 1997.
- YOUNG, K. D.; DRAKUNOV, S. V. Sliding Mode Control with Chattering Redution. *Proc. Amer. Contr. Conf.*, Chigago, IL, p. 1.291, 1992.
- ZHOU, B.; PENG, Y.; HAN, J. UKF Based Estimation and Tracking Control of Nonholonomic Mobile Robot with Slipping. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND BIOMIMETICS. Sanya, China, 2007. *Proceedings [...]*, p. 2.058-2.063, 2007.

DADOS DOS AUTORES

Luiz Carlos Campos Pedroza (luiz.pedroza@cefet-rj.br). Mestre em Engenharia de Controle e Automação pelo IME; doutor em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio. Atualmente leciona no Cefet/RJ.

Bruno Campos Pedroza (bpedroza@engenharia.uff.br). Mestre em Engenharia Mecânica pelo IME; doutor em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio. Atualmente é professor na Universidade Federal Fluminense.

ANÁLISE ENERGÉTICA DE GERAÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE BIOGÁS

Marcella Lopes da Conceição

Alexandre Aristoteles de Queiroz

Fernanda Abreu de Moraes Figueiredo

Ronney Arismel Mancebo Boloy

RESUMO: O objetivo deste estudo é dimensionar um sistema capaz de gerar eletricidade para atender uma comunidade isolada no sul do estado do Rio de Janeiro, que não possui acesso à rede elétrica, a partir do uso de biogás. Como parâmetro para o dimensionamento da microturbina, foram utilizadas a Primeira Lei da Termodinâmica, além da quantidade requerida de biogás para o seu funcionamento. Como resultado, sugere-se o emprego de um sistema capaz de atender à demanda energética esperada para a população local, estipulada em 110 kW/dia, cujo atendimento será realizado através do uso de uma microturbina que tem como insumo para o seu funcionamento a utilização do biogás gerado a partir dos resíduos de peixe, cujo consumo, no cenário 1, é de 81,2 m³/h; no cenário 2, de 93,7 m³/h; e, finalmente, no cenário 3, de 101,5 m³/h, sendo a eficiência global do sistema igual a 33%.

Palavras-chave: Biogás. Bioenergia. Análise energética. Resíduos de peixe.

ABSTRACT: The objective of this study is to size a system capable of generating electricity to supply an isolated community in the south of the State of Rio de Janeiro, from the use of biogas, which does not have access to the electricity grid. As parameter for the microturbine, the First Law of Thermodynamics was used, in addition to the required amount of biogas for its operation. As result, it is suggested to use a system capable of meeting the energy demand expected for the local population, stipulated at 110 kW/day, which will be provided through the use of a microturbine that has as input for its operation the use of the biogas generated from the fish waste, whose consumption in scenario 1 is 81.2 m³/h, in scenario 2 it is 93.7 m³/h, and finally in scenario 3, it is 101.5 m³/h, with the overall efficiency of the system being 33%.

Keywords: Biogas. Bioenergy. Energy analysis. Fish waste.

INTRODUÇÃO

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), o cenário mundial de geração de energia elétrica apresentou uma distribuição concentrada no total, de 76,5% em fontes de energias não renováveis (65,9% de combustíveis fósseis e 10,6% nuclear) e o percentual de 23,5% em fontes renováveis (17% de hidrelétrica, 3,2% eólica, 2,1% biomassa e 1,2% em outras fontes).

No Brasil, a concentração da geração de energia elétrica (GEE) é oposta ao cenário mundial, muito em função da diversidade na oferta de fontes renováveis, característica de um país continental, em especial pela presença de uma bacia hidrográfica brasileira extensa. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), o cenário brasileiro apresentou uma distribuição de 80,9% em fontes renováveis (72% de hidrelétrica, 7,2% eólica, 1,7% biomassa) e apenas 19,1% da sua matriz energética em fontes não renováveis (9,9% gás natural, 2,9% nuclear, 2,7% carvão, 1,7% em óleo diesel e combustíveis e 1,9% em outras fontes).

Embora no Brasil exista uma grande oferta de energia elétrica, devido à sua grande extensão territorial, combinada com as condições climáticas e o modelo de desenvolvimento econômico/social do Brasil, ainda existem regiões que não estão interligadas ao sistema elétrico nacional. No esforço de buscar o desenvolvimento nacional, o Governo brasileiro mapeou e identificou que mais de 10 milhões de famílias estavam no mapa da exclusão da rede elétrica (BRASIL, 2010). Nesse sentido, o governo federal editou o Decreto nº 4.873 (BRASIL, 2003), que previu levar gratuitamente o acesso à rede elétrica para aquelas famílias (BRASIL, 2009a; BRASIL, 2009b).

O mapa da exclusão de rede elétrica identificou que as famílias que não tinham acesso à rede elétrica estavam majoritariamente localizadas em regiões de menor índice de desenvolvimento humano (IDH) e em famílias de baixa renda (cerca de 90% dessas famílias possuíam renda inferior a 3 salários mínimos) (PARENTE, 2007).

Na análise realizada pelo Ministério de Minas e Energia (MME – BRASIL, 2009a; BRASIL, 2009b), o objetivo do programa foi definido partindo-se da premissa de que o acesso à energia elétrica é um vetor de desenvolvimento social e econômico para aquelas famílias e que, de certo modo, é capaz de contribuir para a redução da pobreza e para o aumento da renda familiar. Outro pilar de observação e argumento para a elaboração do programa é que essa ação ajuda

a promover a integração social pelo governo federal, assim como o acesso a serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento, que o acesso à rede elétrica assim possibilita.

Baseando-se nisso, o presente estudo identificou a existência de um povoado rural, situado em área de Mata Atlântica, no interior de Paraty, no sul do Estado do Rio de Janeiro, que não possui acesso à rede elétrica. A comunidade fica situada em área costeira, de difícil acesso, conhecida como Ponta Negra, com cerca de 400 moradores que, há mais de 200 anos, aguardam a chegada de energia elétrica. Esse povoado sobrevive da atividade pesqueira (PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY, 2003).

Embora a comunidade esteja situada entre a maior megalópole da América Latina (eixo Rio-São Paulo), a sua localidade no centro da Mata Atlântica torna a instalação de rede elétrica um verdadeiro desafio, pois a interligação da comunidade junto ao sistema de fornecimento elétrico do município pode trazer impactos ambientais no ecossistema, em especial, com as instalações de postes, transformadores e cabos elétricos no bioma.

Por outro lado, verifica-se a possibilidade de chegada da rede elétrica para a comunidade através do uso de uma fonte alternativa de geração de energia, a partir do uso de resíduos de peixe existentes na própria comunidade. Essa alternativa gera menores impactos ambientais e, ao mesmo tempo, conjuga o respeito às características da localidade com a promoção do acesso a serviços e desenvolvimento.

Isso posto, o objetivo principal é estudar a viabilidade da geração de energia a partir de um sistema capaz de gerar produção de bioenergia, através do uso do biogás proveniente de resíduos de peixes (ossos, pele, nadadeira, vísceras e cabeça). A geração de bioeletricidade será realizada através de um sistema composto por uma microturbina a gás acoplada a um sistema biodigestor a ser instalada na comunidade de Ponta Negra.

Nesse sentido, tem-se como objetivos específicos: (a) atender à demanda energética da comunidade isolada; (b) dimensionar o sistema de microturbina a gás considerando os fabricantes no mercado e (c) desenvolver uma análise energética do sistema proposto associando indicadores de eficiência.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nos últimos anos, o impacto ao meio ambiente tem sido uma das principais variáveis que são avaliadas no momento de se escolher tecnologias para serem aplicadas em processos de GEE. No passado, a premissa de se preocupar com o meio ambiente, quando não era excluído do escopo do projeto, ficava como uma das últimas características levadas em consideração nas análises.

Vários encontros mundiais sobre o tema ambiental vêm difundindo a necessidade de se usar cada vez mais energias advindas de fontes renováveis, muito em função da escassez dos recursos naturais. Muitos estudos nessa área estão sendo realizados.

Uma alternativa para o uso de uma fonte de energia renovável é a utilização do biogás, obtido através do processo de biodigestão anaeróbia, que metaboliza substâncias orgânicas complexas, produzindo o metano, o dióxido de carbono, gases em menor quantidade (sulfídrico e hidrogênio) e material celular (PEREIRA *et al.*, 2015).

O biogás é constituído basicamente por: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). Sua composição segue as seguintes variações percentuais: CH_4 (40 a 90%), CO_2 (10 a 50%), H_2 (0 a 3%), N_2 (0 a 2,5%), O_2 (0 a 1%), H_2S (0 a 3%), NH_3 (1 a 0,5%) e CO (0 a 0,1%). A quantidade de cada componente depende das características físico-químicas da matéria orgânica, ou seja, dos tipos de resíduos que os geram, assim como tempo de retenção, temperatura, pH e relação carbono-nitrogênio-fósforo (COELHO *et al.*, 2004). Por causa do seu alto poder energético, o biogás pode ser empregado na geração de energia elétrica, térmica ou mecânica, minimizando os custos de produção (PEREIRA *et al.*, 2015).

O aproveitamento do biogás como bio-combustível apresenta impactos positivos para o meio ambiente, com destaque para a redução da emissão de dióxido de carbono na atmosfera, resultando em um balanço neutro do carbono durante o processo de produção de energia elétrica, o que beneficia a minimização do efeito estufa. Isso ocorre porque todo gás carbônico produzido durante esse processo é absorvido pelas plantas, que serão utilizadas novamente no processo, mantendo a concentração do gás carbônico atmosférico inalterável. O potencial de aquecimento global do CH_4 é 21 vezes superior ao CO_2 . Assim, a combustão do CH_4 para produzir energia pode reduzir a tonelada de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ lançado para a atmosfera (BRANCO, 2010).

Uma das maiores fontes de geração de energia disponíveis nas áreas rurais e agroindustriais é a biomassa, que aparece na forma de resíduos vegetais e animais, tais como resto de colheita, esterco animal, plantações energéticas e efluentes agroindustriais. Esses resíduos podem ser empregados pelo produtor rural ou pela agroindústria para a queima direta, visando à produção de calor ou à produção de biogás em biodigestores (AVACI *et al.*, 2013).

Graças à instalação de biodigestores, podem-se aproveitar resíduos de matéria orgânica de diversas fontes com o propósito de se gerar energia e produzir biogás, tais como: dejetos de suínos (AVACI *et al.*, 2013), esterco de gado (GONZÁLEZ; DAZA; URUEÑA, 2007), carcaças de peixes (MACHADO *et al.*, 2013), resíduos de sólidos urbanos em aterros sanitários (PIÑAS *et al.*, 2016) e lodo de esgoto (COELHO *et al.*, 2004).

O setor pesqueiro, em especial a pesca extrativa marinha, é uma atividade de grande importância econômica em diversas localidades do Brasil. Os resíduos da indústria de peixe apresentam uma composição rica em compostos orgânicos e inorgânicos, e que de certa forma gera preocupação relativa aos potenciais impactos ambientais negativos decorrentes da disposição desse material diretamente no ambiente ou oferecido *in natura* aos peixes cultivados. Sendo assim, é possível aproveitá-los para a produção do biogás, agregando valor a esse material e contribuindo para a diminuição da poluição provocada por seu acúmulo.

METODOLOGIA

Foram utilizados conceitos da Termodinâmica, especificamente a Primeira Lei, determinando-se, assim, a demanda energética necessária para atender à comunidade, a partir da configuração do sistema de geração proposto.

Com a intenção de atingir o propósito do estudo, elaborou-se um diagrama do sistema de GEE com aproveitamento energético do biogás oriundo de decomposição da matéria orgânica de peixes. Após isso, foi realizada uma análise termodinâmica dos dados, baseando-se no ciclo de Brayton e na adoção de 3 cenários diferentes para suposições das composições do CO_2 e CH_4 no biogás.

Dimensionamento da demanda energética

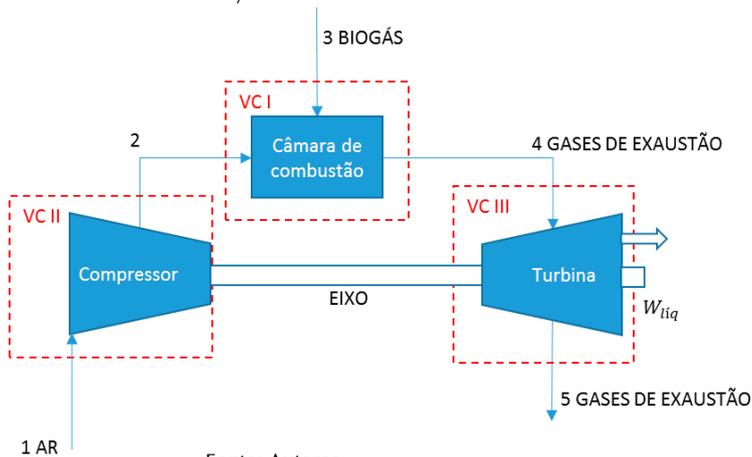
Para estabelecer a quantidade de energia elétrica demandada pela comunidade, foram estipulados, com respaldo em referências, os se-

guintes dados, a saber: a) o número de habitantes é igual a 400 pessoas (PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY, 2003); b) a demanda *per capita* anual é de 2.392 kWh/hab. ano (EPE, 2017) e c) o total de horas por ano é de 8.760 horas.

Sistema proposto

O ciclo de Brayton é composto por quatro processos que apresentam escoamentos e ocorrem em regime permanente.

Figura 1 – Turbina a gás que opera segundo o ciclo de Brayton aberto



Fonte: Autores

A Figura 1 mostra o diagrama esquemático do sistema de GEE utilizado no estudo, constituído por um ciclo de Brayton aberto, que utiliza um processo de combustão interna alimentado com biogás e ar. No sistema, são consideradas perdas de pressão na câmara de combustão e na turbina. Conforme Valero *et al.* (1994), a perda de pressão do ar na câmara de combustão (ΔP_{cc}) e a perda de pressão na turbina (ΔP_t) são iguais a 5%. Observa-se ainda que o biogás e o ar comprimido entram no volume de controle I (câmara de combustão). O ar atmosférico a ser comprimido no volume de controle II (compressor) encontra-se nas condições normais de temperatura e pressão, ou seja, à pressão de 1 atm e à temperatura de 25°C. Os gases de exaustão obtidos no processo de combustão, cuja composição é de N₂ (72,42%), O₂ (14,98%), H₂O (5,35%), CO₂ (4,41%) e SO₂ (2,84%), alimentam o volume de controle III (turbina) a uma temperatura de 280°C e pressão de 1,05 atm e são expandidos isoentalpicamente, permitindo a geração de trabalho de eixo da turbina que, posteriormente, é transformado, no gerador elétrico, em energia elétrica.

Determinação da vazão mássica de combustível

As equações (1) e (2) foram utilizadas para determinar a vazão de combustível necessária para o sistema elaborado.

$$E_p = E_{comb} \cdot \eta_{ei} \quad (1)$$

$$E_{comb} = PCI_{comb} \cdot \dot{m}_{comb} \quad (2)$$

As variáveis representam:

E_p – Potência da turbina (kW);

E_{comb} – Energia suprida pelo combustível (kW);

η_{ei} – Rendimento elétrico da turbina (%);

PCI_{comb} – Poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg);

\dot{m}_{comb} – Vazão mássica do combustível (kg/s).

Primeira lei da termodinâmica (conservação de energia)

A expressão básica da Primeira Lei da Termodinâmica para ciclos é exposta em (3).

$$\phi \delta Q = \phi \delta W \quad (3)$$

Ou seja, todo o calor líquido transferido para o sistema durante o processo é igual ao trabalho líquido durante o ciclo.

Para o caso prático, é mais interessante considerar a lei aplicada a um processo, ou seja, existe uma mudança de estado no volume de controle. Ao estabelecermos um estado inicial 1 e um estado final 2, obtém-se a lei expressa em (4).

$$Q_{vc} = E_2 - E_1 + W_{vc} \quad (4)$$

Onde:

Q_{vc} – Calor transferido para o sistema durante o processo do estado 1 ao estado 2;

E_1 e E_2 – Valores inicial e final da energia do sistema;

W_{vc} – Trabalho realizado pelo sistema durante o processo.

Calor específico dos gases de exaustão

Villela (1998) obteve a curva do calor específico dos gases de exaustão gerados pela combustão de biogás ($C_{p_{gex}}$) em função da variação da temperatura de saída estabelecida, conforme se pode observar em (5).

$$C_{p_{gex}}(T) = 1,0045 - \frac{3,33379T}{10^5} + \frac{5,53354T^2}{10^7} - \frac{1,44806T^3}{10^{10}} \quad (5)$$

Análise de cenários

O biogás gerado a partir de resíduos orgânicos pode ter composições variadas em termos de teores de metano e dióxido de carbono. Por isso, para analisar a sensibilidade do balanço energético ao variar a composição do biogás

consumido, realizou-se uma análise de cenários para três formulações do biocombustível.

No cenário 1, o biogás a ser utilizado é composto por 75% de CH₄ e 25% de CO₂, enquanto, no cenário 2, essa composição passa a ser 65% de CH₄ e 35% de CO₂ e, por fim, um biogás com teor de 60% de CH₄ e 40% de CO₂ será objeto de análise no cenário 3. A Tabela 1 apresenta a massa específica e o Poder Calorífico Inferior (PCI) para cada formulação de biogás a ser utilizada nos cenários.

Tabela 1 – Massa específica e PCI para cada biogás analisado no respectivo cenário

Cenários	Composição Química do Biogás	Massa Específica (kg/m ³)	Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)
1	75% CH ₄ , 25% CO ₂	1,0268	26.180,10
2	65% CH ₄ , 35% CO ₂	1,1518	20.227,02
3	60% CH ₄ , 40% CO ₂	1,2143	17.710,08

Fonte: Adaptada de AVELLAR (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Microturbina

Conhecer o consumo demandado pela comunidade é essencial para a escolha da turbina a gás que será utilizada no sistema de GEE. Sendo assim, o cálculo da demanda energética requerida pela comunidade é de 110 kW. Portanto, para suprir essa demanda, optou-se por recorrer à utilização de uma microturbina de 200 kW que pode ser operada com biogás. A turbina escolhida como referência é fabricada pela empresa Capstone e os seus principais dados técnicos são indicados na Tabela 2 (CAPSTONE C200, 2018).

Tabela 2 – Dados técnicos da microturbina Capstone C200

Parâmetro	Valor
Potência	200 kW
Rendimento elétrico	33%
Temperatura de exaustão	553K
Vazão gases de exaustão	1,3 kg/s
Tensão	400-480 VAC
Tipo	Trifásico
Frequência da rede	50/60 Hz

Fonte: Adaptada de CAPSTONE C200 (2018)

Análise de cenários

Ao avaliar os resultados para o cenário 1 presentes na Tabela 3, percebe-se que o valor máximo de pressão no sistema se dá no ponto 2, onde há ar comprimido pelo compressor, e o valor mínimo adotado é nos pontos em que os valores são iguais à pressão atmosférica, ou seja, onde há entrada do ar atmosférico no com-

pressor e na entrada do biogás na câmara de combustão (CC). Em relação às temperaturas do sistema, tem-se, como valor máximo, 553 K nos pontos 4 e 5 referentes aos gases de exaustão e o valor mínimo encontrado é de 298 K no ponto 1, onde se considerou temperatura ambiente. Para os valores de entalpia, o ponto do ar atmosférico apresenta o menor valor igual a 300,06 kJ/kg e o ponto dos gases de exaustão após a CC tem o valor máximo de entalpia igual a 591,71 kJ/kg. O trabalho de eixo gerado pela turbina é igual a 210,53 kW. Em termos de energia, o valor mínimo de 383,13 kW é referente ao ar atmosférico e o valor máximo é igual a 769,22 kW no ponto dos gases de exaustão após a CC. Para vazão mássica, o ponto do biogás apresenta 0,023 kg/s como a menor vazão e o ponto dos gases de exaustão apresenta valor máximo correspondente a 1,300 kg/s.

Tabela 3 – Resultados para o cenário 1

Ponto	Cenário 1				
	\dot{m} (kg/s)	P (kPa)	T (K)	h (kJ/kg)	Energia (kW)
1	1,277	101,33	298	300,06	383,13
2	1,277	112,27	302	304,38	388,65
3	0,023	101,33	298	571,65	606,06
4	1,300	106,66	553	591,71	769,22
5	1,300	101,33	553	429,77	558,70
W _{eixo}					210,53

Fonte: Autores

Ao utilizar o biogás do cenário 2, encontraram-se os resultados conforme exposto na Tabela 4. Os valores para temperatura e pressão são iguais aos do cenário 1. O mínimo valor de entalpia encontrado no sistema foi o do ar atmosférico igual a 299,90 kJ/kg, e o máximo refere-se ao ponto dos gases de exaustão após CC com 591,71 kJ/kg. O trabalho de eixo gerado pela turbina foi de 210,53 kW. O valor mínimo de energia corresponde ao ponto de ar atmosférico com 380,89 kW e o máximo de 769,22 kW referente aos gases de exaustão após CC. Em termos de vazão mássica, o maior valor refere-se aos gases de exaustão no valor de 1,300 kg/s e o menor valor corresponde à vazão do biogás igual a 0,030 kg/s.

Tabela 4 – Resultados para o cenário 2

Ponto	Cenário 2				
	\dot{m} (kg/s)	P (kPa)	T (K)	h (kJ/kg)	Energia (kW)
1	1,270	101,33	298	299,90	380,89
2	1,270	112,27	302	304,05	386,16
3	0,030	101,33	298	530,14	606,06
4	1,300	106,66	553	591,71	769,22
5	1,300	101,33	553	429,77	558,70
W _{eixo}					210,53

Fonte: Autores

Na Tabela 5, encontram-se os resultados obtidos na análise do cenário 3. Os valores para temperatura e pressão são iguais aos do cenário 1. Em relação à entalpia, o valor mínimo encontrado no sistema foi o do ar atmosférico igual a 299,90 kJ/kg e o máximo refere-se ao ponto dos gases de exaustão após CC com 591,71 kJ/kg. O trabalho de eixo gerado pela turbina é igual a 210,53 kW. Já em relação à energia, o ponto 1 apresentou o valor mínimo de 379,61 kW e, como valor máximo, tem-se o ponto dos gases de exaustão após a CC, com 769,22 kW. O maior valor para vazão mássica é igual a 1,300 kg/s no ponto dos gases de exaustão e o menor valor corresponde à vazão mássica do biogás, 0,034 kg/s.

Tabela 5 – Resultados para o cenário 3

Cenário 3					
Ponto	\dot{m} (kg/s)	P (kPa)	T (K)	h (kJ/kg)	Energia (kW)
1	1,266	101,33	298	299,90	379,61
2	1,266	112,27	303	304,51	385,45
3	0,034	101,33	298	509,39	606,06
4	1,300	106,66	553	591,71	769,22
5	1,300	101,33	553	429,77	558,70
W_{eixo}					210,53

Fonte: Autores

Foi realizada uma comparação nos três cenários utilizando-se os seguintes requisitos: a) vazão mássica de ar atmosférico; b) vazão mássica de biogás; c) razão ar/combustível; d) consumo de biogás.

No Gráfico 1, apresenta-se um gráfico com a comparação dos valores encontrados no estudo energético para a vazão mássica de ar atmosférico que entra no compressor em kg/s. Para os cenários 1, 2 e 3, os valores são equivalentes a 1,277 kg/s, 1,270 kg/s e 1,266 kg/s, respectivamente. Nota-se um decréscimo nessa vazão ao se diminuir o teor de CH_4 no biogás.

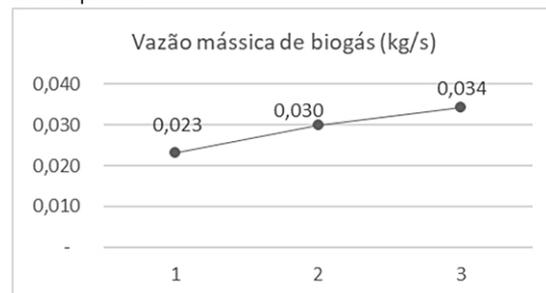
Gráfico 1 – Análise da vazão mássica de ar atmosférico necessária ao compressor



Fonte: Autores

De posse dos valores do PCI e do valor do E_{comb} , pôde-se calcular a vazão mássica de combustível para os três cenários como ilustrado no Gráfico 2. Os valores encontrados no cenário 1, 2 e 3 são, respectivamente, 0,023 kg/s, 0,030 kg/s e 0,034 kg/s. Percebe-se que, ao diminuirmos o teor de metano e aumentarmos o teor de dióxido de carbono, tem-se um aumento desta vazão mássica. Isso é justificado porque ao se reduzir o teor de metano, conseqüentemente o PCI do biogás também reduz, ou seja, a quantidade de calor que o combustível transfere ao sistema é menor.

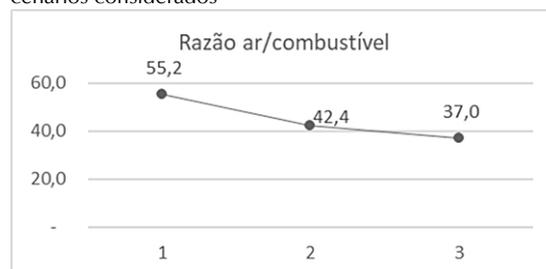
Gráfico 2 – Análise da vazão mássica de biogás necessária ao compressor



Fonte: Autores

A razão ar/combustível ($R_{A/C}$) representa a relação entre a vazão mássica de ar e a vazão de combustíveis encontrada no balanço energético. No Gráfico 3, mostram-se os valores da razão ar/combustível encontrados para os cenários observados no estudo. Encontraram-se valores de $R_{A/C}$ para os cenários 1, 2 e 3 de biogás, iguais a 55,2, 42,2 e 37,0, respectivamente. Uma redução dessa razão é notada ao se diminuir o teor de CH_4 do biogás utilizado, conseqüência da redução observada na vazão de ar atmosférico (Gráfico 1) e do aumento na vazão de biogás (Gráfico 2).

Gráfico 3 – Comparação da razão ar/combustível para 3 cenários considerados

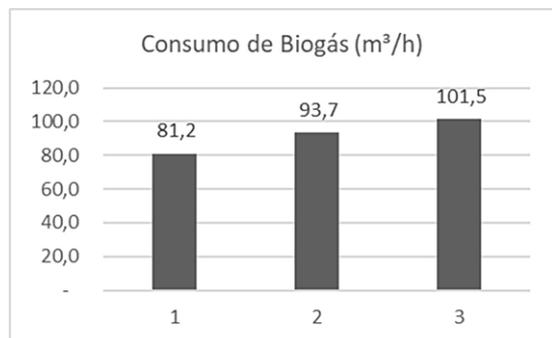


Fonte: Autores

A partir da vazão mássica de biogás obtida pelo balanço energético e pelas respectivas massas específicas, conforme Tabela 1, encontrou-se o valor de consumo de biogás (m^3/h). O Gráfico 4 apresenta esses valores para as três formulações analisadas. Tem-se, como consu-

mo de biogás, nos cenários 1, 2 e 3, 81,2 m³/h, 93,7 m³/h e 101,5 m³/h, respectivamente. Nota-se que, quanto menor a porcentagem de metano da mistura, maior o consumo de biogás. Isso ocorre, pois, ao reduzir a porcentagem de CH₄, a massa específica do biogás formado aumenta.

Gráfico 4 – Comparação entre os consumos de biogás dos 3 cenários considerados



Fonte: Autores

A eficiência global da microturbina, ou seja, a divisão entre a potência da turbina e o E_{comb} encontrado é equivalente a 33%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização das análises, encontrou-se a demanda necessária de biogás para ser usada, como combustível, pelo sistema de geração de energia elétrica, proporcionando o

funcionamento e a manutenção da comunidade. Destaca-se que o consumo de biogás é, no cenário 1, de 81,2 m³/h; no cenário 2, de 93,7 m³/h; e no cenário 3, de 101,5 m³/h. A eficiência global da microturbina é igual a 33%, logo, pode-se verificar como aumentar essa eficiência em próximas pesquisas.

Além disso, verifica-se como uma oportunidade no futuro um estudo de caso capaz de analisar a composição química dos resíduos da pesca e do biogás gerado por estes com o objetivo de conhecer o aproveitamento energético como fonte de combustível para a geração de eletricidade.

Descobriu-se, através de uma notícia do Portal da Prefeitura de Paraty (CHEGADA, 2017), que a comunidade para a qual foi dimensionado o sistema objeto desta pesquisa começou a ter acesso à eletricidade a partir do final do ano de 2017. Mesmo assim, entende-se que esse dado não inviabiliza o estudo aqui realizado, que amplia a importância do assunto, por possibilitar uma alternativa na geração de eletricidade a partir de tecnologia limpa, cujo insumo principal advém da própria atividade da comunidade. Logo, o caráter de relevância ainda permanece, pois se constitui como possibilidade de impedir o acúmulo de resíduos de peixe e, adicionalmente, permite a geração de eletricidade. Caso haja produção desta além do necessário para a comunidade, o excedente de produção poderá ser revendido para a companhia elétrica, gerando, assim, um ganho financeiro em prol dos seus habitantes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Informações Gerenciais*. Dezembro, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+-+4%C2%BA+trimestre+2017/44ec3035-27e5-0398-e7e3-c612ec4dc994>. Acesso em: 30 jan. 2019.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M. de; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SECCO, D. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 456-462, 2013.

AVELLAR, L. H. N. *A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental*. 2001. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2001.

BRANCO, M. S. R. C. *Avaliação do impacto da presença de siloxanos em sistemas de aproveitamento de biogás*. 2010. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

BRASIL. Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS" e dá outras providências. Criação do Programa Luz para Todos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 11 nov. 2003.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). *Manual de Projetos Especiais*. Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica. Anexo à Portaria nº 60, de 12 de fevereiro de 2009. Brasília, DF, 12 fev. 2009a. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Manual%20de%20Projetos%20Especiais.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). *Manual de Operacionalização do Programa Luz para Todos*: Revisão 6. Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica. Anexo à Portaria nº 85, de 20 de fevereiro de 2009. Brasília, DF, 20 fev. 2009b. Disponível em: https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Manual%20de%20Operacionaliza%C3%A7%C3%A3o_v6.pdf. Acesso em: 30 jan. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). *Luz para Todos*: um marco histórico – 10 milhões de brasileiros saíram da escuridão. Secretaria de Energia Elétrica. Programa Luz para Todos. Brasil: Bárbara-Bela Editora Gráfica, 2010. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documentos/10584/3042878/Livro+%60%60UM+MARCO+HIST%C3%93RICO+-+10+milh%C3%B5es+de+brasileiros+sa%ADram+da+escureid%C3%A3o%60%60+-+Portugu%C3%AAs/fd6da853-1341-45d5-a6e0-13a0ffc5f5a4;jsessionid=551760B88FA2B910A25A383296C44F6F.srv155>. Acesso em: 30 jan. 2019.

CAPSTONE C200. Disponível em: <https://www.capstoneturbine.com/products/c200>. Acesso em: 4 maio 2018.

CHEGADA da energia elétrica na Ponta Negra. *Portal da Prefeitura de Paraty*, 5 dez. 2017. Disponível em: <http://pmparaty.rj.gov.br/page/noticiasdetalhes.aspx?chave=chegada-da-energia-eletrica-na-ponta-negra>. Acesso em: 5 jun. 2018.

COELHO, S. T.; VELAZQUEZ, S. M. S. G.; MARTINS, O. S.; COSTA, D. F.; BASAGLIA, F.; BACIC, A. C. K. Instalação e testes de uma unidade de demonstração de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas. *Anais [...] São Paulo: Unicamp, 2004.*

EMPRESA DE PESQUISA E ENERGIA (EPE). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017*: ano-base 2016. Rio de Janeiro, Brasil: EPE, 2017.

GONZÁLEZ, J. M. M.; DAZA, C. A. D.; URUEÑA, C. H. G. Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Revista Ingeniería e Investigación*, Colômbia, v. 27, n. 3, p. 133-142, dez. 2007.

MACHADO, S. T.; JORDAN, R. A.; SANTOS, R. C.; PAOLETTO, A. M.; REIS, J. G. M.; AVÁLO, H. Geração de biogás com dejetos provenientes da piscicultura. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013, São Paulo. *Anais [...] São Paulo: UNIP, 2013.*

PARENTE, V. G. *Relatório analítico das atuais condições legais e regulamentares referentes ao atendimento de consumidores de energia elétrica, com foco nas comunidades indígenas, quilombolas e assentamentos rurais*: direitos e obrigações na utilização do serviço. Documento institucional s/n. Projeto PNUD/BRA 99/011. Programa Luz para Todos. Ministério de Minas e Energia, 2007.

PEREIRA, V.; FERREIRA JÚNIOR, J. M.; MARTINEZ, G. A. S.; TOMACHUK, C. R. Avaliação de sistema de colunas para remediação de biogás a partir de biomassa não digerida. *HOLOS*, Rio Grande do Norte, v. 8, n. 31, p. 242-251, 2015.

PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A. de; ROALCABA, O. D. C. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *R. Bras. Est. Pop.*, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 175-188, jan./abr. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY. Secretaria de Turismo e Cultura. Plano Diretor de Desenvolvimento Turístico do Município de Paraty. *Inventário Turístico*: Volume 1 – Aspectos Gerais. 2003. Disponível em: <http://www.cepa.tur.br/comtursap/PDT%20Paraty.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2018.

VALERO, A.; LOZANO, M. A.; SERRA, L.; TSATSARONIS, G.; PISA, J.; FRANGOPOULOS, C.; VON SPAKOVSKY, M. R. CGAM problem: definition and conventional solution. *Energy*, Elsevier, v. 19, n. 3, p. 279-286, mar. 1994.

VILLELA, I. A. C. *Modelagem termoeconômica de sistemas de refrigeração*: produção de água gelada para um laticínio. 1998. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 1998.

DADOS DOS AUTORES

Marcella Lopes da Conceição (marcella.lopesc@gmail.com). Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO), Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ). Engenheira de Produção da Petrobras.

Alexandre Aristoteles de Queiroz (alexandrearistoteles@hotmail.com). Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO), Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ). Administrador da Petrobras Distribuidora.

Fernanda Abreu de Moraes Figueiredo (fernandaabreu@id.uff.br). Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPPRO), Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ).

Ronney Arismel Mancebo Boloy (ronney.boloy@cefet-rj.br). Doutor em Engenharia Mecânica na Área de Transmissão e Conversão de Energia pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG), da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). Professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ). Líder do Grupo de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia (GEEMAT/CNPq).

FACTIBILIDAD PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LOS ARREGUÍN DE ABAJO

Alondra Argüello Jacobo

Catalina González Nava

RESUMEN: En este artículo se presenta el análisis de factibilidad para la generación de biogás en la comunidad de Los Arreguín de Abajo, realizándose visitas de campo para reconocimiento del lugar, encuestas, obtención de muestra. Los análisis de laboratorio muestran la factibilidad de producción de biogás y el apoyo de las personas fue favorable para la implementación de biodigestores, así mismo mostrando prospectivas para las personas de la comunidad, intentando buscar una mejor calidad de vida para ellas.

Palabras clave: Biogás, excreta, fertilizantes, prospectiva.

RESUMO: Este artigo apresenta a análise de viabilidade para a geração de biogás na comunidade de Los Arreguín de Abajo, realizando visitas de campo para reconhecimento do local, levantamentos, coleta de amostras. Análises laboratoriais mostram a viabilidade da produção de biogás e o apoio das pessoas foi favorável para implementação de biodigestores, além de mostrar perspectivas para as pessoas da comunidade, buscando uma melhor qualidade de vida para elas.

Palavras-chave: Biogás, excretar, fertilizantes, prospectivo.

ABSTRACT: This article presents the feasibility analysis for the generation of biogas in the community of Los Arreguín de Abajo, carrying out field visits for site recognition, surveys, sample collection. Laboratory analyzes show the feasibility of biogas production and the support of the people was favorable for the implementation of biodigesters, as well as showing prospects for people in the community, trying to find a better quality of life for them.

Keywords: Biogas, excrete, fertilizers, prospective.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años se han generado una gran cantidad de proyectos en cuanto a energías renovables, aunque para la parte de biomasa en México no se puede encontrar información de proyectos tan amplia como en Europa o Estados Unidos, encontrando algunos del Instituto Politécnico Nacional para la producción de biogás (Quesada, 2007). Uno de los métodos de producción de energías más limpias que se ha convertido en un tema de gran interés, es la bio-generación (Pahla, 2017) a partir de la cual es posible obtener, entre otros, como producto final una fuente de energías renovable como el biogás. Los Arreguín de Abajo es una comunidad en Guanajuato, México perteneciente al municipio de Celaya, con una actividad de económica de producción y venta de leche, actividad que genera residuos orgánicos con los cuales es posible producir energía.

El presente trabajo es un análisis de la factibilidad de desarrollar nuevas vías energéticas ecológicas (P.A.U, 2012) que obedecen a las políticas regidas a niveles estatales, nacionales y mundiales, que contemplan el cuidado del medio ambiente y la generación de energías limpias para coadyuvar en la mejora de la calidad de vida de las personas en la comunidad.

El análisis de factibilidad, contempla la instalación de un biodigestor de prueba para que se vea el funcionamiento de este y el ahorro energético que se puede llegar a obtener (Global, 2017) optando por un combustible más limpio y que pueda ser utilizado en dos perspectivas, que analizaremos más adelante, buscando un equilibrio y que se tenga la confianza con las personas de la comunidad, para exponer las condiciones reales del proyecto.

El trabajo presenta gráficos que se obtuvieron de cuestionarios, así como los resultados de análisis de laboratorio sobre la producción de biogás, trabajando bajo condiciones óptimas y a condiciones reales, buscando la relación 30:1 de carbono-nitrógeno, en donde Varnero Moreno (Varnero, 2017) nos dice que es la relación ideal, al igual que una temperatura que oscila entre los 25°C a 35°C y un pH de 7. Los resultados obtenidos, pueden brindar ventajas económicas y socioeconómicas (Siles, 2017) para la comunidad como las que se presentan:

- Producción de energía calorífica
- Contribución para el uso de energías renovables
- Reduce emisiones de CO₂

- Favorece el desarrollo rural
- Aprovechamiento de recursos ganaderos
- Crean 5 veces más puestos de trabajo que las convencionales
- Evita la contaminación al medio

La comunidad se dedica en su mayoría a la venta de leche y crianza de vacas, no obstante, existen hogares que cuentan con chivos y cerdos, además de contar con conejos, gallinas, entre otros. Cuenta con un total de 352 habitantes (América, 2018) siendo una comunidad marginal, cuenta con apoyos de Desarrollo Social del Municipio de Celaya y asociaciones como IABS. El principal problema a atacar es el mal manejo de residuos, ya que, la producción de excreta al día es almacenada durante varios días hasta que un camión recolector de la industria ladrillera recoge los residuos realizando un pago de \$200 pesos por ellos, lo cual ocasiona problemas de moscas, mal olor, contaminación y lo más importante enfermedades (Li, 2017).

OBJETIVO

Recolectar la excreta y analizar las diferentes características con las que cuenta, para así hacer pruebas a nivel laboratorio y ver si así existe contenido de metano para la generación de biogás.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Hacer contacto con comunidad y obtener la aprobación para llevar a cabo el trabajo.

Revisar que la comunidad cumpla con las características necesarias para la producción de biogás.

Recolectar muestra de excreta para hacer pruebas a nivel laboratorio y ver si cuenta con los estándares de calidad para la producción.

HIPOTESIS

Con la excreta obtenida de los animales que se encuentran en la comunidad de Los Arreguín de Abajo cuenta con la relación 30:1 de carbono-nitrógeno para producir biogás, una temperatura de 25°C a 35°C y un pH ideal de 7 (Varnero, 2017)

JUSTIFICACIÓN

La finalidad de este análisis es conocer la factibilidad de que el lugar sea óptimo, obedeciendo a políticas mundiales que contemplan el cuidado del medio ambiente, la generación de energías limpias y mejorar la calidad de vida de las personas en la comunidad de los Arreguín de Abajo. Teniendo en cuenta las diferentes variables que pueden atacar a este proyecto, desde los factores ambientales hasta los factores humanos, ya que dicho proyecto requiere de la participación de las personas de la comunidad.

METODOLOGÍA

Se realizó visita de campo para obtener fotografías, encuestas, observación y recolección de muestras (Ozturk, 2017). Con las muestras, se montaron en el laboratorio 3 biodigestores de prueba de 500ml de capacidad, operando a una capacidad del 50%, con un tiempo de residencia de 30 días, temperaturas de 20°C, pH de 7 y de inóculo se utilizó estiércol de vaca, se midió pH, temperatura y volumen de gas producido (Amon, 2007). Se procedió a alimentarlo cada dos días, dejando los fines de semana para que descansaran y observar sus cambios, fueron alimentados con 500kg de inóculo de vaca (Comino, 2009), con este procedimiento se realizaron dos pruebas por triplicado. Pero previamente se realizaron los cálculos correspondientes, dado que las bacterias consumen 30 veces más nitrógeno, (Toklu, 2017) se consideró un rango de 30:1 hasta 20:1, aplicándose a la fórmula 1 y considerando los valores de Varnero Moreno tomando en cuenta 30% de carbono, 1.30% de nitrógeno y una relación de 25:1 de carbononitrógeno (P.A.U, 2012)

Ecuación 1. Contenido carbono - nitrógeno

$$K = \frac{C_1 * Q_1 + C_2 * Q_2 + \dots + C_n * Q_n}{N_1 * Q_1 + N_2 * Q_2 + \dots + N_n * Q_n}$$

Fuente: Manual del Biogás

El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se cargó el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente (Shea, 2017). La movilidad de las bacterias metano-génicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. (Giovannelli, 2017) se debe conocer el porcen-

taje de los sólidos totales para nuestro análisis, considerando los valores de Varnero Moreno tomando en cuenta el porcentaje de sólidos totales (%S.T) 13.4 - 56.2 (Varnero, 2017)

Ecuación 2. Porcentaje de sólidos totales.

$$\%S.T = \frac{1kg \text{ excreta} + \%S.T \text{ excreta fresca}}{1kg \text{ de excreta fresca} - \text{agua agregada}}$$

Fuente: Manual del Biogás

Ecuación 1.1 Contenido carbono - nitrógeno

$$K = \frac{29 * 500gr}{1.30 * 500gr}$$

$$K = \frac{14,500}{650}$$

K = 22.30

Fuente: Por los autores

Ecuación 2.1 Porcentaje de sólidos totales.

$$0.5 = \frac{0,5kg * 0.348}{0,5kg + W \text{ agua}} = \frac{0.174}{0.5 + W \text{ agua}}$$

$$0.5[0.5kg + W \text{ agua}] = 0.174$$

$$0.25kg + 0.5 W \text{ agua} = 0.174$$

$$0.5 W \text{ agua} = 0.174 - 0.25kg$$

$$W \text{ agua} = \frac{0.076}{0.5}$$

W agua = 0.152

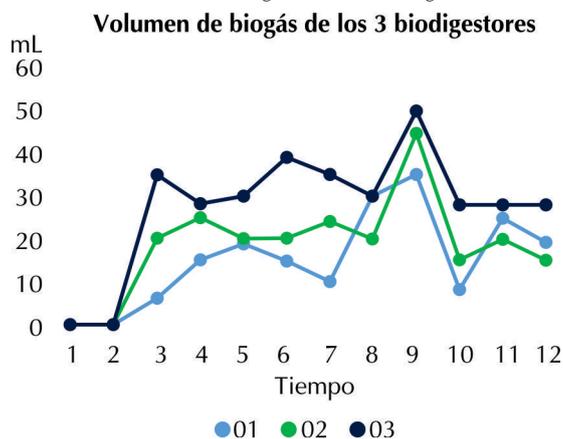
Fuente: Por los autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuando fue recolectada la excreta de la comunidad se procedió en el laboratorio de la Universidad Politécnica de Guanajuato a montar 3 biodigestores de prueba, ya que, la intención fue crear una comparación sometiénola a diferentes cantidades de agua y excreta, midiendo diariamente 3 parámetros fundamentales para la producción de biogás, como se menciona anteriormente.

Al arrancar los prototipos de biodigestores estos fueron medidos en los meses de septiembre – diciembre (Qiao, 2011), obteniendo como resultado los cambios en su temperatura, oscilando entre 20°C a 22°C, mientras que su pH y volumen de gas no cambiaba porque se comenzó en meses donde la temperatura es baja por lo tanto el volumen de gas fue nulo al inicio, se encontró en 7 y 35 respectivamente durante 3 semanas, dándonos como resultado el gráfico que se muestra a continuación, haciendo un comparativo entre los tres biodigestores con distintos volúmenes de agua y excreta.

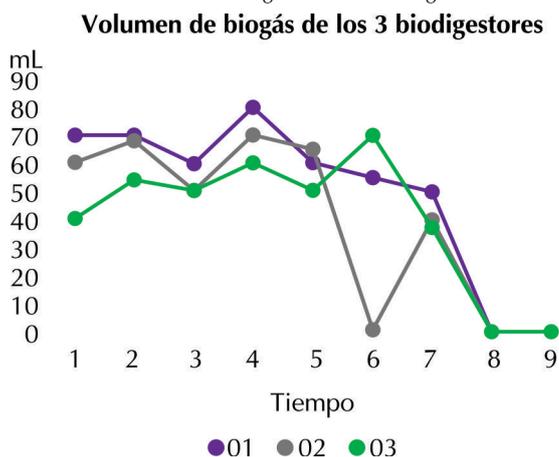
Gráfico 1: Volumen de biogás en los 3 biodigestores.



Fuente: Por los autores

Para tener una idea más clara como se comportarían a condiciones reales (Scheitler, 2017) se optó por sacar los prototipos fuera del laboratorio, monitoreándolo durante 2 semanas, obteniendo como resultado los que se pueden apreciar en el gráfico para el volumen de gas.

Gráfico 2: Volumen de biogás en los 3 biodigestores.



Fuente: Por los autores

Como podemos observar en el gráfico 1 el volumen de gas producido al arranque de los tres biodigestores estacionarios fue nulo, como se iniciaron en la temporada de otoño – invierno siendo la temporada más fría no podían iniciar con volúmenes altos, mientras que en el gráfico 2 se nota un apreciable cambio del volumen de gas producido, ya que fueron expuestos a la intemperie, como observamos en el gráfico 1 el biodigestor numero 3 fue el que produjo más gas siendo 50ml mientras que en el gráfico 2 el biodigestor 1 fue que produjo más gas con 80ml aunque decayó al final.

Para realizar el proyecto fue muy importante aplicar encuestas, ya que, se requerían de

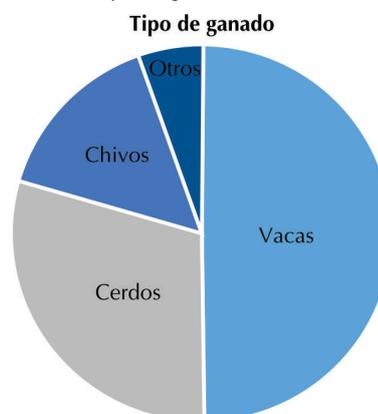
ciertos datos concisos para saber si la comunidad de Los Arreguín de Abajo era viable, por consiguiente, entre las preguntas realizadas se cuestionó sobre el tipo de combustible utilizado para cocinar como para el baño, teniendo que el 80% utiliza el gas LP y el 20% utiliza leña como fuente de calor, mientras que para el baño todos indicaban que en tiempos un poco cálidos llenaban cubetas, sacándolas al sol para que se calentara el agua, mientras que en tiempos fríos lo calentaban en sus estufas o fogones.

Entre los resultados de las encuestas se pudo notar que la gran mayoría utiliza su estufa mientras que aún hay personas dentro de la comunidad que utilizan fogones para su cocina; tomando en cuenta esto, las personas que utilizan gas LP gastan un tanque al mes siendo esto aproximadamente \$650 pesos, aunque hay personas que prefieren ir a rellenar sus tanques de gas, gastando \$100 pesos al mes, pero también debemos considerar a las personas que talan árboles para conseguir la leña necesaria para el mes.

En cuanto a las horas de cocina que utilizan para cocinar son muy pocas ya que el 70% usa 2hrs diarias, el 20% utiliza 3hrs y un poco porcentaje de 10% utiliza 4hrs. Otro factor muy importante para el proyecto es saber qué cantidad de personas cuentan con ganado, para nuestra suerte el 95% tiene ganado, lo cual presenta una enorme ventaja para el análisis de factibilidad, saber al igual el tipo de alimento que se le da a su ganado.

Una de las cosas finales que se les cuestionó fue de donde obtenían sus ingresos siendo una mayoría del 90% que tiene negocios propios para proveer su sustento, mientras que el 10% de ellos tienen trabajos fijos, esto nos ayudó más a pensar en la perspectiva y el beneficio que presentaría para ellos tener biodigestores.

Gráfico 3: ¿Qué tipo de ganado tiene?



Fuente: Por los autores

Aunque se consideraron 3 factores fundamentales para poder saber que sería más factible si poner un biodigestor grupal o uno por casa, analizando las encuestas realizadas teniendo el factor del tipo de ganado, ya que se requería buscar la relación de carbono – nitrógeno (Moharmanian, 2017) varias casas cuentan con vacas, cerdos y chivos, con esta excreta también podemos obtener buenos resultados para los biodigestores.

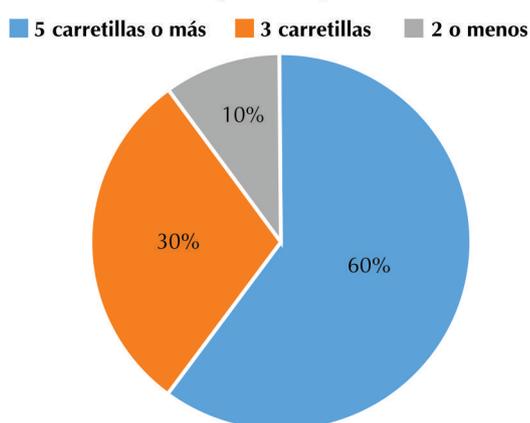
Gráfico 4: ¿Qué cantidad de ganado tiene?



Fuente: Por los autores

Uno de los puntos más destacados fue la cantidad de ganado con la que se contaba por casa, observado que en su mayoría se contaba con 25 cabezas de ganado o más, siendo un factor favorable para disponer de la excreta bovina como podemos apreciar en el gráfico 4.

Gráfico 5: ¿Cuánta excreta aproximada genera a la semana?



Fuente: Por los autores

La cantidad de excreta generada fue otro de los factores importantes para la producción de biogás, saber con cuanto se contaría para la alimentación de los biodigestores, afortunadamente la cantidad de excreta generada es abundante y podemos disponer de ella.

Para el proyecto fue muy importante tener el apoyo de las personas de la comunidad, por ende desde un inicio se les pregunto si estaban dispuestos a trabajar con nosotros y nosotros daríamos nuestro mejor esfuerzo para que dicho proyecto se llevara a cabo, la comunidad acepto tener un análisis, por ello se realizaron visitas de campo donde se dieron pláticas para dar a conocer el proyecto como se puede observar en la imagen 1 con las mujeres encargadas de informar a las demás personas de la comunidad, siendo claros con ellas desde un principio y ellas mostrando su disponibilidad a apoyar en el proyecto.

Imagen 1. Platica con mujeres de la comunidad para dar a conocer el proyecto



Fuente: Por los autores

Aunque también hubo dificultades, ya que, en algún punto las personas se negaron un poco, como asociación civil nuestro objetivo es crear agentes de cambio, no darles todo a manos llenas, sino, buscar apoyos pero que ellos también den de su parte, por consiguiente, se programó una visita de campo a una comunidad de Valle de Santiago, donde ellos pudieron observar un biodigestor tipo bolsa, como el que se muestra en la imagen 2, funcionando y esto nos ayudó a que se aceptara un poco más el proyecto.

Dados los datos obtenidos y habiendo analizado la factibilidad del proyecto se planea poner un biodigestor por casa en lugar de uno comunitario, teniendo dos opciones, una adición de fogón con biodigestor de 10,000 lts y otro de estufa con biodigestor de 10,000 lts como se observa en las imagenes 2 y 3, de acuerdo a las necesidades de cada persona.

Imagen 2. Biodigestor tipo bolsa



Fuente: Gas verde

Imagen 3. Estufa funcionando con biodigestor



Fuente: Gas verde

Dadas las condiciones del proyecto se tiene una gran ventaja por la generación de abonos orgánicos, (Varnero,2017) teniendo prospectiva de ser empleado en el huerto orgánico que se está desarrollando observándolo en la figura 9, utilizando incluso el agua que sale del mismo biodigestor para regar árboles frutales, aunque bien el bio-fertilizante que se genere podría venderse si este fuera más en forma sólida (Kumar,2017) que proviene de los biodigestores tipo batch o semi continuos.

Otra prospectiva que se tiene prevista para la comunidad es la generación de una micro empresa de quesos, ya que como se mencionó en el documento es una comunidad lechera que malvende su producto, por ello esto les podría generar una oportunidad de ganancias, (Alvarez,2009) la elaboración les saldría muy barata, ya que entre los apoyos que se les dio por parte de Desarrollo Social fue un curso para hacer quesos, no obstante se les ha ofrecido un curso de lácteos en la Universidad Politécnica de Guanajuato para que ellos tengan un ingreso extra y con esto generemos agentes de cambio.

Imagen 4. Huertos Orgánicos en la comunidad de Los Arreguín de Abajo



Fuente: Por los autores

CONSIDERACIONES FINALES

El proyecto de la instalación de un biodigestor es factible, la producción de excreta necesaria para un solo biodigestor es más que suficiente, ya que para un biodigestor como los que se presenta solo necesitan 3 cubetas de excreta para alimentar el biodigestor, por lo tanto, la comunidad de Los Arreguín de Abajo cumple con las características necesarias.

Lo que se propone es un biodigestor por familia, ya que sería algo complicado que fuera uno para toda la comunidad, por ello la mejor idea es que sea por casa, incluso puede que sea uno por 3 familias, así el coste de este disminuirá.

Como se mencionó a lo largo de este documento, el proyecto presenta una excelente prospectiva por la generación de un ingreso extra a los bolsillos de las personas de la comunidad, porque como sabemos la excreta es vendida por \$200 pesos aproximadamente, con el proceso al que se someterá la excreta se puede vender a un precio considerable y disminuir las enfermedades, la contaminación y la proliferación de moscas, al igual que generar ingresos con la microempresa que se mencionó.

REFERENCIAS

- ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production. *El Sevier*. 2009; 33(2009):529-531.
- AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V. Biogas production from maize and dairy cattle manure-influence of biomass composition on the methane yield. *El Sevier*. 2007; 118(2007):174177.
- ARREGUÍN DE ABAJO (Celaya, Guanajuato) [Internet]. *mexico.PueblosAmerica.com*. 2018 [cited 13 January 2018]. Available from: <https://mexico.pueblosamerica.com/arr-eguín-de-abajo/>
- COMINO, E.; ROSSO, M.; RIGGIO, V. Development of a pilot scale anaerobic digester for biogas production from cow manure and whey mix. *El Sevier*. 2009; 100(2009):5074-5075.
- GENERACIÓN de energía eléctrica a partir de biogás. 1st ed. México: Fabián Andrés Siles; 2017.
- GIOVANNELLI, N. Arreguín de Abajo [Internet]. *Nuestro Mexico*. 2017 [cited 1 December 2017]. Available from: <http://www.nuestromexico.com/Guanajuato/Celaya/Areas-de-menos-de-500habitantes/Arreguín-de-Abajo/>
- GLOBAL challenges in the sustainable development of biomass gasification: An overview. *El Sevier*. 2017; 80(2017):2425.
- KUMAR, V.; NANDA, M. Production of biodiesel and bioethanol using algal biomass harvested from fresh water river. *El Sevier*. 2017; 116(2017):606607.
- LI, Y.; ZHOU, L.; WANG R. Urban biomass and methods of estimating municipal biomass resources. *El Sevier*. 80(2017):1019-1021.
- Manual de biogás. 1st ed. Santiago de Chile: Prof. María Teresa Varnero Moreno; 2017
- MOHARAMIAN, A.; SOLTANI, S.; ROSEN, M.; MAHMOUDI, S.; MOROSUK, T. A comparative thermoeconomic evaluation of three biomass and biomass-natural gas fired combined cycles using organic Rankine cycles. *El Sevier*. 2017; 18(2017):533.
- OZTURK, M.; SABA, N. *El Sevier*. Biomass and bioenergy: An overview of the development potential in Turkey and Malaysia. 2017; 79(2017):12871288.
- PAHLA, G. Energy densification of animal waste lignocellulose biomass and raw biomass. *El Sevier*. 2017; 24(24):168-170
- P.A U. Comparative study of biogas production from cow dung, cow pea and cassava peeling using 45 litres biogas digester. *Pelagia Research*. 2012; 3(2012):1865-1868.
- QIAO, W. Evaluation of biogas production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment. *El Sevier*. 2011; 36(2011):3314.
- QUESADA, R.; SALAS, N.; ARGUEADAS, M.; BOTERO, R. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA APARTIR DE BIOGÁS. *EARTH*. 2007; 1(2):228
- SCHEITERLE, L.; ULMER, A.; BIRNER, R.; PIKER, A. From commodity-based value chains to biomass-based value webs: the case of sugarcane in Brazil's bioeconomy. *El Sevier*. 2017;43(2017):3859-3861.
- SHEA, R.; WALL, D.; MURPHY, J. An energy and greenhouse gas comparison of centralised biogas production with road haulage of pig slurry, and decentralised biogas production with biogas transportation in a low-pressure pipe network. *Applied Energy*. 2017; 208:108-122.
- TOKLU, E. Biomass energy potential and utilization in Turkey. *El Sevier*. 2017; 107(2017):236
- ZHANG, Q. Technical economy feasibility analysis of biomass stove heating system. *El Sevier*. 2017; 143(2017):145.

DATOS DE LOS AUTORES

Alondra Argüello Jacobo (aloon.jacobo20@gmail.com). Ingeniero en Energía en la Universidad Politécnica de Guanajuato. Miembro activo del Instituto de Auto-sustentabilidad y Bienestar Social a.c. 044 461 122 7958.

Catalina González Nava (cgonzalezn@upgto.edu.mx). Doctorado en Ciencia y Tecnología con especialidad en Ingeniería Ambiental por el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Profesor de tiempo completo en Universidad Politécnica de Guanajuato.

CASE STUDY THE RECOVERY OF WASTE IN THE EUROACE AREA

Roberta Mota Panizio

Paulo Sérgio Duque de Brito

Luís Filipe do Carmo Calado

Ricardo Correia

ABSTRACT: The present article presents the amount of waste generated in the Centro and Alentejo regions of Portugal, belonging to the EUROACE area. The data were obtained from the economic reports of the companies that collect the waste. Using the database created, companies of the zones of interest along with waste collection data, nine companies belonging to that region were selected and visited. During the visits to the companies it was prioritized to know the production process and to perceive the waste generated and what quantities, in the background a complete characterization with all the flows that the companies present. It was concluded that both the Central and Alentejo regions of Portugal, belonging to the EUROACE area, have a significant energy recovery capacity. The more interior locations, despite having fewer industries at the level of SMEs and large entities, there is a larger amount of agroindustries with high waste recovery capacity.

Keywords: Agroindustrial waste. EUROACE area and energy recovery

INTRODUCTION

Produced at all stages of the activities carried out, the residues, both in term of composition as well as in volume, vary according to the consumption practices and the production methods used. Hazardous waste (inflammable, corrosive, pathogenic, reactive and toxic), produced by industries, is particularly worrisome in terms of its management. Without the correct final destination being achieved, these hazardous wastes end up becoming a threat to the environment (Lima, N.; Mota 2003). Thus, according to article 7 of Decree-Law 178/2006, the hierarchy of waste management to be received in the hazardous waste management units is adopted as the first premise, favoring, in order of preference, the forms of treatment that lead to re-use, material recycling, energy recovery and finally landfilling. This Regulation is also guided by the principle of self-sufficiency, in accordance with article 4 of the same law. Landfilling is permitted only where the possibility of recourse to this solution is technically confirmed and the option for any form of recovery is not feasible. The same principle applies to the preparation of alternative fuels for energy recovery, and this activity must be carried out in accordance with Decree-Law 178/2006 of 5 September. In order to ensure the operation of hazardous waste management units in accordance with all these principles, appropriate techniques - which should be recognized as BAT (Best Available Techniques) - should be adopted in the case of units covered by Decree-Law no. 173/2008, of August 26, on Prevention and Integrated Pollution Control (IPPC) (Henriques 2009).

In 2016, 4,891 thousand tons (t) of urban waste (UW) were produced in Portugal, 3% more than in 2015. As regards the direct referral of urban waste to the main management operations, the following distribution is made: 29% for landfill, 26% for mechanical and biological treatment, 23% for energy recovery, 11% for material recovery, 8% for mechanical treatment and 3% for organic recovery. Stabilization of quantitatively collected and materially recovered is continuing, which is not in line with the efforts and investments that have been made to bring selective disposal equipment closer to the population and which pose a risk to compliance consummation (Agência Portuguesa do Ambiente 2016).

The reutilization of the remaining biomass of the processes used in the agroindustry, besides avoiding the accumulation of waste, contributing to the pollution control and providing better public health conditions, decontamination

of aquatic environments, can also be used for the aggregation of clean energy and for the recovery of valuable elements present in the waste, contributing to the fertilization of the soil and improvement of food production. It is in this context that the aim is to develop alternatives to reuse agroindustrial waste in order to minimize the environmental impacts resulting from these activities (Schneider, Martinez-Alier, and Kallis 2011).

Energy recovery is a waste treatment method that uses combustion or biodigestion to obtain energy. In Portugal there are two large incineration plants, one in Oporto and another in Lisbon. These two units are responsible for the burning of more than 20% of waste generated in Portugal. The energy generated by the combustion of non-recyclable waste produces electricity and heat to local industry or domestic energy needs. In relation to biodigestion, the process has now started to take its first steps; and, it still does not appear as an alternative treatment to the final waste destination in Portugal (Agência Portuguesa do Ambiente 2016).

The potential waste to energy technologies that can be used in the valorisation can be grouped into: Thermal (Direct combustion and Incineration), Thermo-chemical (Torrefaction, Plasma treatment, Gasification and Pyrolysis) and Biochemical (Composting, Ethanol fermentation and Anaerobic Digestion) (Bosmans A, Vanderreydt I, Geysen D 2013). Generally, thermal technologies convert the waste directly into heat energy while thermo-chemical and biochemical ones first convert the waste into secondary energy carriers such as syngas, torrefied pellets, biogas, bioethanol and biooil, which can subsequently be burnt (in furnaces, steam turbine, gas turbine or gas engine) to produce energy in the form of heat and/or electricity.

The "Waste from Energy" process helps to conserve fossil fuels, limit greenhouse gas emissions and reduce the volume of waste sent to landfills. Waste prevention measures, eco-design, reuse and other "circular" actions are estimated to generate net savings of around 600 billion euros for EU companies (around 8% of total annual turnover), creating 170,000 jobs in the waste management sector and, at the same time, enabling a reduction of 2 to 4% in total annual GHG emissions. The Circular Economy is thus presented as a catalyst for competitiveness and innovation. For example, measures that led to a collection of around 95% of mobile phones in the EU would amount to savings of more than € 1 billion in manufacturing costs (Korhonen et al. 2018).

CASE OF STUDY

In this article, a database of companies in the field of metallurgy and electromechanics was set up in the Center and Alentejo region of Portugal, belonging to the EUROACE zone, with the capacity to produce and develop technology based on the energetic recovery of waste. A database was also created of companies that generate waste with potential for energy recovery.

In another moment, some companies were selected and visits were made to verify the amount of residues and to better understand the real energetic potential that the cited region possesses.

EUROACE area

The EUROACE area is characterized by a grouping comprising the regions of Alentejo and Center of Portugal and the region of Extremadura, Spain, established on September 21, 2009 in Vila Velha de Ródão, following the signature of the Protocol that constituted the working community and which has reinforced the will of the three regions to establish cooperative relations.

With the creation of this region, it intend to start a new stage of collaboration, in which joint projects can be developed that are closer and useful to citizens, businesses and society at large (Eurorregião 2017).

At the territorial level, EUROACE covers the geographical area of Alentejo, Central Portugal and Extremadura. It has an approximate area of 92,500 km², where 3 388 563 inhabitants live, or 6% of the peninsular population. It is equivalent to almost one-fifth of the surface of Spain, and surpasses Portugal in extent, although, despite its enormous territorial potential, it has a low population density, being this densidad of 37 hab / km². Its territorial structure has a good network of small and medium-sized cities, with an adequate supply of services and an easy extra-regional accessibility, which will be enlarged soon with the high-speed train (it was a reality at the moment it is a unknown).

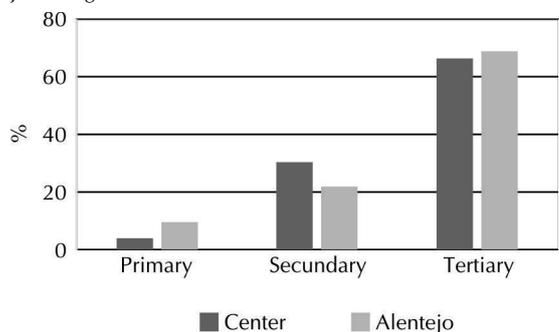
The creation of the EUROACE area aims at fostering cross-border and interregional cooperation between the three regions, promoting the full development of their territories and improving the living conditions of their citizens. Visa also:

- Design cross-border territorial development strategies, coordinate their implementation and ensure their follow-up;
- Ensure coherence of the different dynamics of cooperation at the border between the three regions;

- To promote and approve initiatives for the rapprochement between the agents of the three regions whose purpose is to create and strengthen cross-border cooperation networks;
- Encourage second-generation cooperation, aimed at eliminating border costs at the border, and improving the living conditions of the citizens of the three regions, mainly by optimizing resources and sharing infrastructure, equipment and services.

To understand better the regions studied, it is necessary to use figure 1, where it can be observed that the Alentejo region has a high agricultural activity in detriment of the central region, who presents a greater insdútrial activity. The third sector is the same for both regions.

Fig. 1: Sectors of activity in the central region and Alentejo(Portugal 2015).



The Euroace zone, the region was divided into Alto Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral, Centro, Centro Litoral and Beira Interior

Center region

The central region of Portugal, representing 25.7% of the Portuguese territorial area and 16.8% of its population, that is, 1.8 million inhabitants, distributed in 78 municipalities and 24 thousand km². It holds a position of geographic centrality in the national context: it ensures the articulation of the Portuguese territory and its urban system, through the linking of structural corridors of mobility between the two large metropolitan areas of Lisbon and Porto; it also provides Portugal with access to the north and the center of Europe through the continental transport corridors; and, being a region of Atlantic facade, where there are two ports of medium dimension, it also ensures the articulation with Europe and the rest of the world, through maritime transport.

The most representative sectors are pulp and paper products, research and development in the physical and natural sciences, motor vehi-

cles (including components and accessories), glass and ceramics, plastic articles, information technology, fabrication of metal structures, industrial gases, wood-related industries, footwear and the manufacture of health equipment.

The Central Region has a potential for the production of energy from waste recovery. It is a region that adopts constant improvements in the practices available for increasing productivity, efficiency and efficiency, and a constant innovation, supported by knowledge, R & D and qualified human capital, underlining the cross-cutting need for a sustainable use of resources and supporting the transition to a more circular economy.

Alentejo region

The Alentejo region corresponds to 33% of the continental territory, that is, 31551.2 km² in length. With approximately 760 thousand inhabitants dispersed in 48 municipalities. The territory is fairly uniform, with plains dominating the landscape almost completely. On the other hand, the climate is of Mediterranean characteristics, presents low / medium means of annual precipitation, concentrated in the beginning of the autumn and end of the winter.

In the European context, the Alentejo region has a standard of living, measured by PIB levels per capita, which is considerably lower than the EU average and has revealed, over the last years, a difficulty in tracking the average annual PIB growth rate in the context general of the country.

The region economic base is based on natural conditions conducive to diversified activities, with emphasis on agricultural, agroindustrial, livestock and forestry activities, activities associated with the exploration of geological and mineral resources (pyrite, marble, water, granite, among others) and tourism based on natural, landscape and cultural heritage.

These activities are complemented by business dynamics in new productive sectors, with emphasis on the aeronautics industry, which represents a strategic and technological relevance with the potential of clustering; the creative industries and culture, as a means of boosting equipment and particularly sensitive areas. In patrimonial and architectural terms; the economy of the sea, the extensive Atlantic strip and the development of traditional fishing and tourism activities and new emerging and socially necessary activities (energy production, biotechnology and chemistry); and energy, by exploiting the existing water and solar resources in the territory.

RESULTS AND DISCUSSION

Waste recovery

The Portuguese territory in 2014 produced 9.9 million tons of industrial waste. Of this total waste, 31.8% is sent to landfill, 10% is incinerated, 3.1% is energetically valued and 55% is recyclable, and in Portugal there is no backfilling (matter taken up, for example, for insertion into concrete). Data released by Eurostat in May 2017.

According to these data, Portugal is the country with the largest quantity of waste sent for incineration. Many of these wastes have an energy potential and could be directed to this end. With energy recovery and avoidance of incineration, the amount of emissions could be reduced, contributing to the reduction of impacts as foreseen in the Kyoto Protocol, as well as contributing to Portugal achieving the objectives of COP 23, which aims to increase the energy consumption from renewable sources.

Portugal has 31.8% of its industrial waste sent to landfills, does not mean that these are at the end of life and do not have an energy value attributed. According to the circular economy, which targets the policy of 4R's (which means reducing consumption, reusing goods, restoring goods and recycling materials) of materials and energy, a product can only be sent to landfills or final disposal, when there is no other way to reuse or valorize it.

In the period 2010-2014, most of the sectorial waste was taken to recovery operations (on average, about 76% of total waste generated), reaching a maximum of 80.4% in the first two years of the period (2010-2011), 70.5% of the waste was sent for recovery, while in the second phase (2012 -2014) this contribution was, on average, 79.6% (Instituto Nacional de Estatística 2014).

The sectoral waste generated in Portugal by the business sector amounted to 8.2 million tons in 2015, which corresponds to a decrease of 1.6 million tons (-16.3%) compared to the one reached in 2014, which stood at 9, 8 million, maintaining the downward trend already registered in the previous year. Total recovered waste surpassed 7.1 million tonnes, 86.3% of the total, which corresponds to an increase of 0.9% compared to 2014, where waste recovery accounted for 85.5% of the total. The Sectors related to Waste Management and Utilization (division 38 and group 4677 of CAE Rev.3) and the sectors of the Manufacturing Industry stood out as the main generators of sectoral waste with, respectively, 3.6 and 2.5 million tons of sectorial waste, accounting for 74.2% of

the total sectoral waste produced. Of note is the relative importance gain of these two activities, which increased by almost 10 pp between 2014 and 2015, from 65.4% to 74.2% of the total waste generated by the economy. On the other hand, the construction sector has lost importance, with waste generation decreasing around 900 thousand tons, from 1.5 million in 2014 to 620 thousand tons in 2015, a reduction of 58.5%. In structural terms it decreases 7.9 pp from a relative weight of 15.9% in 2014 to 8.0% in 2015.

Regarding the non-hazardous waste generated during the period under review (2011-2015), the Waste Management and Utilization industry (15.5 million tonnes) along with the Manufacturing Industry (13.9 million tonnes) contributed cumulatively with 60.5% of the total non-hazardous waste estimated for the entire period 2011-2015 (48.7 million tonnes) [25].

The sectoral waste generated in 2016, by the business fabric in Portugal, amounted to 9.9 million tons, which corresponds to an increase of 1.3 million tons (+ 14.8%) compared to that of 2015, which was 8.7 million tons, reflecting the evolution of the previous year. Total recovered was 8.1 million tonnes (7.4 million tonnes in 2015), corresponding to 82.4% of the total (85.8% in 2015).

The type of waste produced and the treatment are shown in table I.

Table I. Type of waste produced and the treatment

Hydrocarbons; Maritime Slops;	Valorization	Valorization of hydrocarbons;
Special Incineration Waste;		- Regeneration of Solvents;
Solvents and Diluents;		- Valorization of photographic effluents containing silver;
Solvent-free / halogen-free residues;		- Regeneration of ion exchange resins
Various chemical products;		Oxidation / Reduction;
Lamps and batteries;	Physical-chemical treatment	- Neutralization;
Aerosols;		- Breaking of emulsions;
Equipment containing PCBs;		- Stabilization / Inertization.
Oil filters, batteries;		- Incineration with energy recovery;
Inert waste;	Thermal Treatments and Energy Valorization	- Evapo-oxidation;
Organic and inorganic wastes;		- Gasification;
Animal and vegetable fats		- Biodigestion.

Table II. Waste generated in each sector.

Type of Waste (ton/year)	Region					
	Alto Alentejo	Alentejo Center	Alentejo Litoral	Center	Beira Interior	Litoral Center
Glass	2722	5663,04	810	6332	2481	4003
Paper card	4264	3563,73	346	1688	2078	2966
Packaging and Metals	1586	2132,86	23	211	201	2138
REE's, Batteries, Scrap, Tires, Wood OAU	750	2830				116
Plastic	6774	2366	92	1030	891	1480
Organic	1800	9488,6				3112
Sludge	800	1295,52				
Green waste	280	567	17	211	58	14

Assumptions: According to Decree Law no. 73/2011 of 06/17/2011, the following rates were used to estimate State Revenue:

- € 1 per tonne of waste handled in incineration or co-incineration plants;
- € 2 per ton of urban and similar waste and inert waste from construction and demolition waste deposited in landfills;
- € 2 per tonne of waste indexed to the collection rate set out in the license of the managing bodies of individual or collective waste streams and which are not disposed of through such systems for reuse, recycling or recovery under the conditions laid down in their respective licenses;
- € 5 per tonne of other types of waste not provided for in the previous paragraphs deposited in landfills.

Volume of Urban Waste Equated considered in the analysis: 530KTons of UWE, of which 268KTons for Deposition, 85KTons for Energetic Valorization; 31KTons for Organic Recovery and 42KTons for Selective Collection (Source: VSAdivisory Analysis)

In Table II, it is presented as a constituent of residues generated in each region. Of the main residues produced in the studied region, with energetic potential, we have organic (29%), paper card (16,5%) and plastics (14%) that are found in greater quantity. Residual sludge also has a potential for energy recovery through thermal gasification.

The biomass gasification process consists of the conversion of a solid / liquid organic compound into a gaseous compound and a solid phase. The gas phase, often referred to as "synthesis gas," has high heating power and can be used for energy production or biofuel production. The solid phase, called "char" or "biochar", includes the unconverted organic fraction and the inert material present in the treated biomass. This conversion represents a partial oxidation of the carbon in the feed material and is generally carried out in the presence of a gasification carrier such as air, oxygen, steam or carbon dioxide. Biomass gasification is considered as a way to increase the use of biomass for the production of energy, allowing a generalized use of biomass.

Business sustainability assessment

By analyzing the companies available in the database belonging to the EUROACE Area, and more specifically in the areas of the Center and Alentejo in Portugal, and based on the data of the companies responsible for the collection

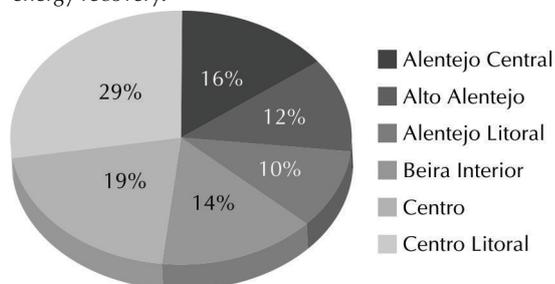
of waste from the above regions, potential for energy recovery.

Although Portugal has a greater population density in the region near the coast, when it is directed towards the continental one, it is observed a capacity of energetic valorization relatively equivalent to the companies more to the coast (figure 2).

The Alentejo region has a strong implementation of agroindustrial industries and livestock raising. As mentioned above, many of the companies mainly in the Portalegre area are "family" agroindustries, which produce wastes with a high energy content that can be valued, which is not the case today. The area of Beja is traditionally known for the creation of black pigs, and the residues derived from this sector have a high energetic potential as regards their use through biodigestion, due to the composition of the wastes.

The Leiria area has a considerable group of companies related to the plastics industry, generating a large quantity of by-products that, in most cases, are sent to landfills. The plastics directed to landfill have a great energetic potential and could be used for combustion or gasification, because they are biomass with a high calorific value, a residual value of humidity and highly rich in carbon. The zones of Aveiro, Castelo Branco and Évora have companies of more varied sectors, not having a type residue that stands out like the other studies.

Fig 2. Companies that generate waste with potential for energy recovery.



Based on the results presented in the aforementioned regions, it was proposed to identify examples of these companies in the field and to carry out a case study.

In this context, visits were made to 9 companies belonging to the EUROACE area. During the visits to the companies were prioritized to know the production process and to perceive the waste generated and what quantities, in the background a complete characterization with all the flows that the companies present.

The companies visited are in various sectors of the national economy. Among them is a winery, a cooperative producing olive oil, chemical industry, milk producer, dairy industry, producer of packaged soups, recycler of electric cables, slaughter and manufacture of rubber products.

Table III shows the amount of waste that is generated per year in each one of the companies studied according to the above.

Table III. Quantity of waste generated by each company in ton/year or m³/ano.

Company / waste	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Paper (ton/year)			2,7			4	277		59
Plastic (ton/year)			2,9			9	1939		35
Metal (ton/year)							554		
Glass (ton/year)			1,5						
Liquid effluent (m ³ /year)		1992	1108	16000		1305		138500	
Solid organic material (ton/year)		5640	831	8760	1440	25		27700	
Forest material (ton/year)	5,2					50			55
Rubber (ton/year)									447

The results demonstrated that there is a large production of waste, although the companies visited are small and medium-sized, to valorization. In order to show the results of the potential that can be obtained from these wastes, it is necessary to characterize those of the significant part of the organic residues produced by each company (table IV).

Table IV. Characterization of the organic waste in Portugal. (Thermodynamic Evaluation of Portuguese municipal solid waste gasification.)

Category	% Weight
Putrefied residues	37,57
Paper	6,16
Cardboard	4,31
Composites	6,39
Textiles	7,74
Sanitary textiles	8,72
Plastics	12,1
Combustive non specified	0,93
Glass	5,53
Metals	2,45
Non-combustive non specified	0,5
Hazarddous residues	0,01
Fine elements	7,59

For the case of study, the next table demonstrated the great potential to valorization the waste identify. The table V identify the energetic power of the waste with a conversion rate of 60%.

Table V. Technical potential for electricity generation (MW/year) produced through the waste produced, with a conversion rate of 60%.

Company / waste	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Paper (MW/year)			1,1			1,6	110,8		23,58
Plastic (MW/year)			1,1			3,6	775,6		14
Liquid effluent (MW/year)		4,2	2,3	33,6		2,7		290,75	
Solid organic material (MW/year)		1,7	0,03	0,3	0,5	0,01		9,18	
Forest material (MW/year)	0,002					0,02			0,02
Rubber (MW/year)									0,2

The power generation potential per year was estimated to 1276,5 MW from gasification and biodigestion scenarios respectively. This shows that the potential of power generation from these WTE technologies is huge and, if developed, can not only contribute towards power generation from renewable sources but also alleviate the cost of landfills and its associated environmental problems.

CONCLUSION

This work has the objective to demonstrate the capacities and viability that the EUROACE region has in the energetic valorization of "endogenous" residues as well as in the "construction" of technology for this purpose.

It is concluded that both the Center and the Alentejo of Portugal, belonging to the EUROACE zone, have energy capacity derived from the recovery of waste. The more interior locations, despite having fewer industries at the level of SMEs and large entities, there is a greater quantity of agroindustries with high waste valorization capacity. Combined with this waste production, there is also a relatively large potential for the production of waste energy recovery technologies.

Based on the information of the companies that manage municipal waste belonging to the EUROACE zone together with the information of the companies studied, it can be stated that the region has a high energy potential for valorisation through gasification and anaerobic biological treatment.

This study intends to disseminate the use of renewable energy in companies, carrying out the energy valorisation of waste. The production of energy from these sources makes the region self-sufficient

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful for the financial support given to the project 0330_IDERCEX-A_4_E - RENEWABLE INVESTMENT, DEVELOPMENT AND ENERGY FOR THE IMPROVEMENT OF THE ENTREPRENEURIAL FABRIC IN THE REGION CENTRO, ESTREMADURA AND ALENTEJO co-financed by INTERREG - European Regional Development Fund through the FEDER.

REFERENCES

- Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Ana Marçal Ana Rita Teixeira Francisco Silva Márcia Machado. 2016. "Relatório de Avaliação - PERSU 2020." : 91.
- Bosmans A, Vanderreydt I, Geysen D, Helsen L. 2013. "The Crucial Role of Waste-to-Energy Technologies in Enhanced Landfill Mining: A Technology Review." *J Clean Prod.* 55: 10–23.
- Euroregião. 2017. "O Que é a EUROACE?" : <https://www.euro-eu/pt-pt/o-que-e-a-euroace/ap>.
- Henriques, António Gonçalves. 2009. "Regulamento Das Unidades de Gestao de Residuos Perigosos No CIRVER." : 1–83.
- Instituto Nacional de Estatística. 2014. *Estatísticas Dos Resíduos 2014*.
- Korhonen, Jouni, Cali Nuur, Andreas Feldmann, and Seyoum Eshetu Birkie. 2018. "Circular Economy as an Essentially Contested Concept." *Journal of Cleaner Production* 175: 544–52. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>.
- Lima, N.; Mota, M. 2003. *Biotecnologia - Fundamentos e Aplicações*.
- Portugal, Banco de. 2015. *Análise Setorial Da Indústria Metalomecânica*.
- Schneider, F., J. Martinez-Alier, and G. Kallis. 2011. "Sustainable Degrowth." *Journal of Industrial Ecology* 15(5): 654–56.

DADOS DOS AUTORES

Roberta Mota Panizio (rpanizio@ipportalgre.pt). Engenheira ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná; doutoranda em Bioenergia pela Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Bolseira de investigação no Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal.

Paulo Sérgio Duque de Brito (pbrito@ipportalgre.pt). Engenheiro químico e doutor em Engenharia Química. Professor com agregação no Instituto Politécnico de Portalegre e coordenador do Centro de Investigação para a Valorização de Resíduos Endógenos – VALORIZA, Portugal.

Luís Filipe do Carmo Calado (luis.calado@ipportalgre.pt). Engenheiro do ambiente pela Universidade Lusófona; mestrando em Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia pelo Instituto Politécnico de Portalegre. Técnico superior do Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal.

Ricardo Correia (rcorreia@ipportalgre.pt). Engenheiro Civil e mestrando em Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia pelo Instituto Politécnico de Portalegre. Bolseiro de investigação no Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal.

OPTIMIZATION OF SLUDGE HAULING BASED ON CLARKE & WRIGHT'S SAVINGS ALGORITHM

Jeysa Passos

Gonçalo Lourinho

Octávio Alves

Paulo Brito

ABSTRACT: A critical aspect in sludge management practices is route optimization. In this work, we propose a heuristic solution based on Clarke-Wright savings method for the sludge collection problem of a Portuguese company. Two case studies were considered in the methodology. In Case Study A we found that a single vehicle (instead of three) would be capable of performing sludge hauling operations in a given week with a decrease of almost 40% for both cost and pollutant emissions. Regarding Case Study B, the model suggests that for about 76% of the initial cost, the company would be capable of attending twice the number of customers. Moreover, a sensitivity analysis (SA) was carried out in order to check the robustness of results when undergoing changes in the input parameters. We found that vehicle capacity and fuel price are important factors in route optimization with model results greatly influenced by changes in both parameters.

Keywords: Clarke and Wright, Vehicle Routing Problem, Sludge, GHG emissions

INTRODUCTION

The rapid rise in population along with increasing industrialization in recent years have enhanced the production of sewage sludge in wastewater treatment plants (WWTPs) (Raheem *et al.*, 2018), increasing the need of their appropriate management in order to avoid several environmental impacts. In fact, proper treatment and disposal of sewage sludge is a critical element in environmental planning since improper disposal or inadequate treatment may result in the contamination of groundwater and drinking-water supplies, as well as public health problems. Biological WWTPs have been employed throughout the world to treat municipal wastewater and sludge effluent streams are an inevitable by-product. Although the process is efficient in removing organic matter, large amounts of sludge are generated and thus its management is becoming an issue of growing importance (Cieřlik, Namieřnik and Konieczka, 2015; Carrilho and Carvalho, 2016). The average annual production of excess sludge, for example, climbed to 240 million wet tons in Europe, USA and China combined (Wang *et al.*, 2017). The main methods for sludge disposal have been landfill deposition, agricultural use, and incineration, all incurring very large costs (e.g. 30–100 € per wet ton in Europe) (Wang *et al.*, 2017). Therefore, developing strategies for reducing costs in sludge management is of paramount importance.

Recently, European policy makers have been introducing many programs, developmental strategies, and legislation focused on methods leading to waste stabilization and safe recycling. These methods aim to recover valuable raw materials from potentially dangerous effluent streams and processing them in order to enable their use in agriculture, and industry for energy recovery. In this way, pro-ecological management of sewage sludge should be viewed as a priority (Cieřlik, Namieřnik and Konieczka, 2015). In fact, its importance as a valuable source of matter and energy has been appreciated (Kacprzak *et al.*, 2017) since it can be considered an available resource for renewable energy. Some technologies applied to recycle and recover energy from sewage sludge are: incineration (in plants designed only for thermal treatment of sludge as the main feedstock); co-incineration (in concrete plants, in the energy sector, and in waste incineration plants); and alternate thermal methods (for solid fuel production processes) (Cieřlik, Namieřnik and Konieczka, 2015; Kacprzak *et al.*, 2017). Sludge management practices have also received careful consideration in

the European Union (EU), especially the operation of the collection system. One of the factors that have been covered given its contribution to increasing pollution and environmental impacts is the generation of greenhouse gases (GHG) through transportation. Nevertheless, the environmental impact of air emissions produced by refuse vehicles is a fairly recent concern due to the increase in environmental standards (Hauser, 2015). Emissions from trucks and buses increased by 36% between 1990 and 2010 and continue to grow. Recently, these emissions represent around 30% of all road transport emissions and 5% of all EU in terms of CO₂ (European Federation for Transport and Environment, 2015). Based on this, emission factors have been introduced in order to estimate the amount of GHGs released per unit of energy, mass, or volume. They are used with increased frequency for the accounting and reporting of GHG from waste management (Friedrich and Trois, 2013), with the GHG emissions resulting from diesel ranging from 0.4 - 0.5 Kg CO_{2-eq.} L⁻¹ (Fruegaard, Astrup and Ekvall, 2009). In order to reduce the environmental impact caused by transportation, many strategies have been explored recently, including the improvement of management systems by the optimization of waste collection.

It is known that the collection of the waste represents the major part of total expenditure in solid waste management. Thus, route optimization might be considered one essential approach for cost reduction within the industry (Ghose, Dikshit and Sharma, 2006). In the area of combinatorial optimization, the Vehicle Routing Problem (VRP) is one of the most studied problems. VRP is a generic name given to a whole class of problems in which a set of routes for a fleet of vehicles must be determined for a number of geographically dispersed customers (Li, Golden and Wasil, 2007). It is generally considered a complex problem but it is commonly used to define optimal routes for the vehicles that collect waste (Vecchi *et al.*, 2016). Specifically, the concept consists of obtaining routes that minimize the costs of distributing a fleet of vehicles operating from one or more central depots, subject to the restrictions relevant to the specific delivery or collection operation. A VRP is therefore defined by three fundamental factors: decision, goals, and restrictions (Bremenkamp *et al.*, 2016). Generally, it is easy to solve the basic routing problem: either a set of nodes and/or arcs to be serviced by a given fleet of vehicles (with no restrictions on the periods) or the order of visiting points is considered to define the problem and achieve a solution, i.e., to build a low-cost and feasible route for each vehicle (Raff, 1983). In

logistics management, the VRP plays a central role in the efficiency of the operational planning level of distribution and/or collection management, producing economical routes that contribute to the reduction of costs, while simultaneously offering significant savings in all related expenses (fuel costs, driver salaries, etc.) (Maryam and Yousefikhoshbakht, 2017). VRP has been extensively studied in the literature and applied to many real situations, for example, to optimize the distribution of fresh milk (Tarantilis and Kiranoudis, 2002), and to service large-scale emergencies like natural disasters and terrorist attacks (Shen and Ord, 2007). In this context, the development of models for solving specific problems plays an important role in optimizing situations that are part of our daily life. One of the most widely used methods for solving VRP problems is heuristics. Heuristic methods are practical strategies that generate approximate or sub-optimal solutions, allowing to find good solutions in a shorter time and requiring less computational effort. Heuristics usually adopt empirical grouping rules or techniques that are based on economies and can add or exclude nodes. The present work makes use of these heuristic approaches and is aimed to develop and implement a logistic optimization method for the sludge collection system used by a Portuguese company. Specifically, in this study, we propose a methodology based on the Clarke-Wright algorithm (CW) to solve the sludge collection problem of the referred company within a perspective of reducing transportation costs and negative impacts on the environment.

LITERATURE REVIEW

VRPs intend to find a given set of routes that simultaneously minimize both the total cost of the service and the total distance that needs to be satisfied by a fleet of vehicles with determined capacity. In practice, routes are planned by taking into account some constraints such as the fact that each customer can only be visited once and by a single vehicle, and all vehicles start and finish from a common distribution center known as depot. Within this basis, finding a solution to the problem allows the minimization of operating costs, usually by decreasing the number of vehicles needed and the total distance or traveling time (Cardoso, 2009).

VRPs can be considered as the junction of two other well-known problems, namely the Traveling Salesman Problem (TSP) and the Bin Packing Problem (BPP) (Pichpibul and Kawtummachai, 2013).

In the work developed by (Das and Bhattacharyya, 2015), for example, an optimal waste collection and transportation scheme was proposed to Kolkata city, India, based on the TSP. The integrated waste management system was divided into four parts and for each part of the system a route optimization to decrease transportation cost was proposed. More than 30% of the total waste collection path length was reduced with this method representing significant monetary savings in the waste management operations. Despite providing optimal solutions, these approaches do not consider the specific amounts of waste (demand) that have to be collected on the same route. To deal with this issue, the problem can be modeled as the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) in waste collection systems (Bing *et al.*, 2016). CVRP is a problem which considers an additional constraint related with the capacity of the vehicle, i.e., a fixed fleet of vehicles of uniform capacity must service known customer demands for a single commodity, starting from a common depot at minimum transit cost (Subramanian, Uchoa and Ochi, 2013; Maryam and Yousefikhoshbakht, 2017). The objective of CVRP is thus to build a feasible set of vehicle routes that minimize the total traveling distance and/or the total number of vehicles used (Pichpibul and Kawtummachai, 2013). These have been receiving increased attention from researchers in recent years and have been widely studied in the area of combinatorial optimization. In the work developed by (Vecchi *et al.*, 2016), for instance, a combinatorial optimization problem (CARP) was solved in order to obtain optimal vehicle routes for the solid waste collection in the city of Campo Mourão, Paraná, Brazil. With the proposed methodology, authors were able to minimize the traveled distances and maintenance costs, as well as reducing environmental impacts.

VRPs are also considered to be NP-Hard problems and several methods can be used to solve them, including heuristic techniques. Regarding heuristics, specific strategies found in the literature can be divided into three types: (1) constructive heuristics, which seek the gradual construction of a viable solution with the lowest cost; (2) two-level heuristics, in which clients are first grouped into viable routes and then the actual routes are constructed; and (3) improvement methods which can act on a single route or on multiple routes (Bremenkamp *et al.*, 2016). The present work made use of a constructive heuristic, more specifically the Clarke & Wright savings (CW) algorithm, to solve a real-world problem faced by a waste collection company located in Portugal. In the next section, a detailed description of CW savings heuristic is presented.

Clarke and Wright savings algorithm

This method aims to minimize the total distance traveled, which indirectly reduce the number of vehicles needed to meet all the points (Pichpibul and Kawtummachai, 2013). It was proposed by G. Clarke and J. Wright in 1964 (Clarke and Wright, 1964) and introduced the savings concept which is based on the computation of savings by combining two customers into the same route. The general algorithmic approach is given below and consists of combining routes repeatedly by using one vehicle instead of two for the same set of customers while satisfying a given constraint. In other words, the basic idea is to use the savings that can be obtained, either in terms of distance traveled or in the time when joining two existing routes or points, to decrease collection or delivery costs (Crespo Carvalho, 2004). First, the Euclidean distance matrix ($d_{i,j}$) is calculated with the following equation (Equation 1) (Pichpibul and Kawtummachai, 2013):

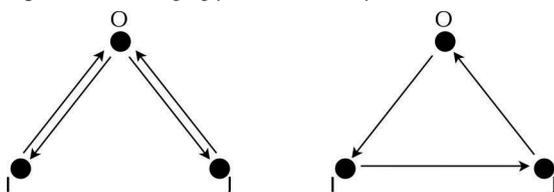
$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

where x_i , y_i and x_j , y_j are the geographical locations of customer i and j . Second, the savings are obtained when the connection between customer i and the depot as well as the connection between the same depot and customer j are broken, creating a new connection between i and j (see Fig. 1) (Cardoso, 2009). The savings value for each pair of customers between customer i and j can then be calculated as follows (Equation 2) (Crespo Carvalho, 2004):

$$s_{i,j} = d_{1,i} + d_{1,j} - d_{i,j} \quad (2)$$

where $d_{1,i}$ is the traveling distance between depot and customer i , $d_{1,j}$ is the traveling distance between depot and customer j , and $d_{i,j}$ is the traveling distance between customer i and j .

Fig. 1: Route merging procedure (Crespo Carvalho, 2004)



The values in the savings list are sorted in decreasing order and the route merging procedure starts from the top of the savings list (the largest $s_{i,j}$). Both customers i and j will be combined into the same route if the total demand does not exceed vehicle capacity and no route constraints exist. The route merging procedure is repeated until no feasible merging in the savings

list is possible. Furthermore, in case of non-routed customers, each one is assigned by a route that starts at the depot, visits the unassigned customer, and returns to the depot (Pichpibul and Kawtummachai, 2013).

Several applications of CW have appeared in the literature (Pichpibul and Kawtummachai, 2013; Alameen, Aljamal and Damrah, 2016). For example, the main aim of the research accomplished by (Hashi, Hasan and Zaman, 2016), was to implement a model which would be able to find shortest and fastest routes, schedule the office bus, and also allocate bus stops for picking up and dropping employees at their residence. After applying the method, the transportation service was able to minimize traveled distances, time, number of stops and buses.

MATERIAL AND METHODS

Problem Statement

The CW algorithm used in the present study aimed to solve the problem of vehicle routing of a Portuguese waste management company in order to find opportunities for cost reduction by identifying the optimal routes for sludge collection. This company performs various environmental services, including the management of sludge generated in several municipalities in Portugal. The collection of sludge occurs in four regions, namely Lisboa, Santarém, Azambuja, and Alenquer, with several points (customers) requiring a visit. There is a fleet consisting of 4 vacuum vehicles with different capacities which attends all these regions according to their demands (Table 1). Currently, the company does not use any route optimization system, i.e., the vehicle leaves the starting point and attends each customer individually, returning to the origin to deposit the sludge in a drying bed after each point being visited. In a typical week, a specific vehicle goes to only one point per day, collects the sludge, and then returns to the origin.

The company operates in the region of Lisboa and Santarém with fixed points (WWTP) while in the regions of Azambuja and Alenquer the points are mostly random. Virtually, every vehicle may be used to meet the demands of each region. In this context, we decided to optimize and create routes for the fixed points (Case Study A) and then analyze a hypothetical case including several points in other two regions to which the company may extend its activities (Case Study B).

Table 1 – Vehicles that meet the demands in each region

Vehicle	Capacity (m ³)	Regions
A	6	Alenquer
B	9	Azambuja
B and C	9 and 12	Santarém
D	8	Lisboa

Solution method overview

The methodology adopted focused on the comparison of the present scenario used within the company with the solution generated by the algorithm using the vehicles already operating. The main goal was to reduce the traveled distance and costs by aggregating the demand of more than one point on the same route. The capacity of each vehicle was therefore defined as a constraint to find the optimal routes. The model was implemented in R (R Development Core Team, 2011) using a package (HeuristicsVRP (Kaveti, 2017)) containing functions relevant to route optimization. Specifically, the package was used to execute CW algorithm in parallel through the integration of the data presented in Table 2.

An important percentage of the total collection cost is related to the transportation, so it was possible to calculate the cost spent on fuel based on the distances traveled in each route. For that, the fuel efficiency of the vehicle fleet was assumed to be 0.2 km.L⁻¹ (data provided by the company) and the diesel price 1.2 €.L⁻¹. Moreover, the GHG emission factor which allowed to estimate environmental impacts of vehicle operations was assumed to be 0.45 Kg CO_{2-eq}.L⁻¹ (Fruergaard, Astrup and Ekvall, 2009). In the next section all the findings resulting from CW implementation are presented.

Table 2 – Data requirements for route optimization based on CW method

Heuristic	Attributes
CW method	Depot and customers location Demand for each customer Vehicle capacity

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis and comparison with company's practice: Case Study A

In order to find a way to minimize the costs related to the distance traveled by vacuum vehicles while performing sludge hauling operations, the current collection system used by the

company was analyzed by considering a typical week. The company visits twelve customers each week in the regions of Lisboa and Santarém, using three vehicles to meet the required demand. With this scenario, maximum vehicle capacity utilization only reaches 63% in Lisboa (Vehicle D) and 50% in some points in Santarém. Since the vehicles designated to perform sludge collection in the referred locations have higher capacities than the demands needed, it is clear that an opportunity to reduce costs is present.

CW algorithm was used to develop a novel weekly plan for the sludge collection system of the company (Table 3). Numbers contained in the "Route" column refer to a specific collection point (customer), with number 1 being the starting point of the route. From the table, we verify that it is possible to merge two points (customers) on the same route if the vehicle with the maximum capacity is used. In order to better visualize the improvements obtained by applying this method, the savings on distance as well as the costs are plotted in Fig. 2. From the plot, we can compare both scenarios (the original weekly plan used by the company, and the novel weekly plan generated by CW algorithm). In general, it can be clearly seen that the total weekly savings achieve almost 40%, both for distance and cost. Specifically, with the adoption of the optimized plan, a single vehicle (Vehicle C) would be capable of performing sludge hauling operations in a given week for a fraction of the initial cost. Instead of three vehicles traveling 894 km every week, the company can meet customers' demand with only one vehicle traveling 548 km. In terms of average cost per unit of sludge collected and environmental impact in terms of pollutant emissions, these savings represent a decrease from 3.38 €.m⁻³ to 2.06 €.m⁻³, and 80 Kg CO_{2-eq} to 49 Kg CO_{2-eq}, respectively. In other words, 1.32 €.m⁻³ of sludge collected and 31 Kg CO_{2-eq} could be saved every week.

Fig. 2– Comparison between the original weekly plan (company's current situation) and application of CW algorithm

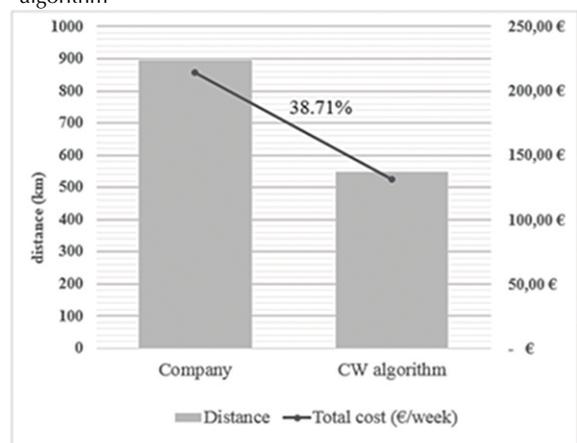


Table 3 – Weekly plan generated by CW method for sludge collection in lisboa and santarém (case study A)

Route	Vehicle capacity (m ³)	Total Demand (m ³)	Utilization	Distance traveled (km)	Variable vehicle cost (€)	GHG emissions (Kg CO _{2-eq})
[1 13 8 1]	12	12	1.00	147.99	35.52	13.32
[1 3 2 1]		10	0.83	87.67	21.04	7.89
[1 9 7 1]		10	0.83	92.71	22.25	8.34
[1 5 4 1]		10	0.83	65.83	15.80	5.92
[1 12 11 1]		12	1.00	89.25	21.42	8.03
[1 10 6 1]		9	0.75	64.55	15.49	5.81
			Total	547.99	131.52	49.32

From this analysis, we can also view taking out two vehicles from operating in the studied regions as another benefit, since the company would be able to expand its client portfolio because more vehicles and days would be available for performing other services in WWTPs. In this context, a new hypothetical scenario was studied based on the expansion of the company's activities to the nearby municipalities of Azambuja and Alenquer. The findings resulting from the application of CW method to this new case study are presented in the next section.

Expansion of company's activities: Case Study B

For the expansion of company's activities to the municipalities of Azambuja and Alenquer, twelve WWTPs were selected as customers. From that, CW algorithm was applied to both regions combined and the available vehicles tested to simulate the sludge collection operations. The demands were estimated taking into account the real scenario (Case Study A) for the already existing clients and after some experimentation, Vehicle B was selected and its capacity (9 m³)

used as a constraint. The routes suggested by the application of the algorithm are shown in Table 4 and a brief discussion follows.

From the table, it can be seen that the lowest vehicle capacity utilization refers the two routes that were not optimized (56%) since the capacity of the available vehicle (Vehicle B) was not enough to meet the demands on both points together (5 m³ each). However, the other created routes presented a higher utilization rate for the vehicle, almost above 90%. Combining the scenario above with Case Study A, we found that the twelve new customers considered could be included in the collecting services while still reducing the initial cost faced by the company. In other words, for about 76% of the initial cost, the company would be capable of attending twice the number of customers. The total distance traveled for collecting sludge in the four regions would then be 683 km for a total vehicle cost of approximately 164 €/week. This approach clearly allows minimizing operating costs, both by reducing the number of vehicles of the company's fleet that have to be used, as well as total distance traveled.

Table 4 – Weekly hypothetical plan generated by cw method for sludge collection in azambuja and alenquer (case study B)

Route	Vehicle capacity (m ³)	Total Demand (m ³)	Utilization	Distance traveled (km)	Variable vehicle cost (€)	GHG emissions (Kg CO _{2-eq})
[1 4 2 1]	9	9	1.00	38.10	9.14	3.43
[1 6 5 1]		8	0.89	30.53	7.33	2.75
[1 7 3 1]		9	1.00	19.26	4.62	1.73
[1 10 9 1]		9	1.00	16.14	3.87	1.45
[1 12 11 1]		8	0.89	15.37	3.69	1.38
[1 8 1]		5	0.56	8.21	1.97	0.74
[1 13 1]		5	0.56	7.55	1.81	0.68
			Total	135.16	32.44	12.16

Sensitivity analysis

A sensitivity analysis (SA) aims to check if a given model produces logical results when undergoing changes in the input parameters. With this approach, the stability of the solution provided by the model can be evaluated by allowing for a certain level of uncertainty. Usually, such

analysis is performed in a condition where the effects of changing the value of a single parameter are considered while keeping the others constant (Vecchi *et al.*, 2016). In the present study, two parameters (vehicle capacity and fuel price) were used and their impact on model performance evaluated for the two scenarios already described (Case study A and B). Demand

is also critical in route optimization, but their influence on the solution generated was not considered here given the features of sludge collection operations (for a given WWTP, the demand hardly changes week by week). For investigating the sensitivity to changes in vehicle capacity, CW method application was tested separately for both cases considered using the four vehicles owned by the company. As for fuel price, a 20% deviation was evaluated both above and below a baseline value (1.20 €·L⁻¹) while maintaining vehicle capacities constant (12 and 9 m³, two vehicles - Vehicle C and Vehicle B). For each case examined, the percentage variation in terms of traveled distance (km) and savings variation in terms of real cost (€) were respectively calculated and analyzed. The results are presented in Table 5 and Table 6.

Table 5 – SA for both scenarios considered separately taking into account the different vehicles available (different capacities)

Vehicles	Case study A (Lisboa and Santarém)
A	Infeasible
B and D	Decrease of 3.48% in total traveled distance
C	Decrease of 38.71% in total traveled distance
Vehicles	Case study B (Azambuja and Alenquer)
A	Infeasible
B and C	Decrease of 33.90% in total traveled distance
D	Decrease of 16.82% in total traveled distance

From these results, we verify that for Lisboa and Santarém the use of Vehicle A is infeasible due to insufficient capacity while Vehicles B and D do not present significant savings. However, by using Vehicle C it is possible to meet the demands required by the customers in both municipalities while achieving optimal savings of about 40% of the traveled distance. On the other hand, for Azambuja and Alenquer, either Vehicle B or C can perform sludge hauling operations while creating maximum savings (about 34%). In practice, Vehicle D may also be used, but traveled distance would decrease by only 17%. At this point, we should recall that in order to define a baseline for Azambuja and Alenquer a plan similar to the one currently used by the company for Lisboa and Santarém was considered, i.e., the vehicle which performs the work would visit only one customer in each route and return to the depot. Moreover, it is important to note that traveling time (including loading and unloading) was not taken into consideration in the analysis. As such, we cannot state if the vehicle with the higher capacity (Vehicle C – 12 m³) would be available to collect sludge beyond the regions considered in the first case study. For simplicity, we consider that Vehicle C would at-

tend the municipalities of Lisboa and Santarém, and Vehicle B would service the municipalities of Azambuja and Alenquer.

Table 6 – SA for both scenarios considered separately taking into account 20% deviation from baseline fuel price (vehicles capacity constant – C and B)

Case study A (Lisboa and Santarém)	20% ↑	Savings of 57 € in total cost
	Baseline value	Savings of 83 € in total cost
	20% ↓	Savings of 109 € in total cost
Case study B (Azambuja and Alenquer)	20% ↑	Savings of 10 € in total cost
	Baseline value	Savings of 17 € in total cost
	20% ↓	Savings of 23 € in total cost

Regarding the variation in fuel prices, first it should be noted that any change in the fuel price will have no effect on the optimal routes generated by CW method since route selection depends only on the distance, demand and vehicle capacity. With this in mind, we opted to evaluate how different fuel prices would influence the variable vehicle cost (€) calculated for each route in the optimized scenario. From this, it is evident that the lower the fuel price considered the higher the saving generated by the adoption of the novel weekly plan in terms of variable vehicle cost. In particular, we verify that a drop of 20% from the baseline value would increase the savings generated by the aggregated routes from 83 to 109 €/week and 17 to 23 €/week in both case studies, respectively (Table 6). On the other hand, with a 20% increase in fuel prices, the savings would be less significant and fall to about 57 €/week and 10 €/week when compared with the baseline value (Table 6). In summary, it can be said that both vehicle capacity and fuel price are two important factors that may affect the viability of the proposed solution.

CONCLUSION

This study intended to apply the CW algorithm to the sludge collection system of a Portuguese company in order to optimize its routes. Two scenarios were analyzed. Results indicate that it is possible to maximize vehicle capacity utilization and minimize the number of vehicles needed for sludge collection in the regions under study. Specifically, with the application of CW algorithm in Case Study A, there is a weekly decrease in traveled distance and cost of 346 km and 83 €. These savings are mainly achieved by the optimization of the distance traveled to visit all customers, as well as a better utilization of the vehicles available. In addition, the optimized

routes would allow a reduction in carbon dioxide emissions to the atmosphere of approximately 37 KgCO_{2-eq}/week. We also found that the advantages of the use of CW algorithm go beyond route optimization since the new strategy allows the company to accept more customers without increasing costs. As such, in Case Study B, we conclude that it would be possible to attend 12 more customers in the municipalities of Azambuja and Alenquer while still reducing the initial cost from 215 € to 164 € for a reduction of 76%. Finally, based on sensitivity analysis, we found that vehicle capacity and fuel price are two important factors in route optimization with the savings generated greatly affected by the values considered in the two parameters. In particular, we conclude that the higher the capacity of the vehicle available, the higher the savings generated since more customers can be serviced in a single route. Also, as regards to the fuel price, it is evident that the savings generated change in proportion to the value considered, i.e., with higher fuel prices the savings generated by the adoption of the optimized plan become less significant in absolute values (€). In conclusion, CW algorithm may be regarded as a valuable

tool for route optimization in companies facing real-world problems such as the collection of sludge in WWTPs with an important impact in operating costs. Globally, the achieved results can also be highlighted within the framework of Europe's 2020 strategy by improving transport efficiency and logistics at a local level.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors acknowledge the financial support received by the project POCI-01-0145-FED-ER-024020 (RDFGAS – Energy recovery of refuse-derived fuel (RDF) and dehydrated sludge), co-financed by COMPETE 2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização, Portugal 2020 and União Europeia through FEDER. Financial support from Fundação para a Ciência e Tecnologia - Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (grant no. SFRH/BD/111956/2015), co-financed by Programa Operacional Potencial Humano and União Europeia-Fundo Social Europeu, is also appreciated.

REFERENCES

- Alameen, M., Aljamal, R. and Damrah, S. (2016) 'A Clarke and Wright Improved Algorithm to Solve the Vehicle Routing and Traveling Salesman Problem', *Global Journal of Enterprise Information System*, 8(1), p. 35. doi: 10.18311/gjeis/2016/7288.
- Bing, X. et al. (2016) 'Research challenges in municipal solid waste logistics management', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 48, pp. 584–592. doi: 10.1016/j.wasman.2015.11.025.
- Bremenkamp, L. H. et al. (2016) 'Aplicação Da Heurística De Clarke & Wright Para Um Distribuidora'.
- Cardoso, S. R. de S. N. (2009) 'Optimização de Rotas e da Frota Associada', p. 103.
- Carrilho, S. M. A. V. and Carvalho, E. H. (2016) 'Avaliação da disposição de lodos de fossa e tanque sépticos em lagoas de estabilização que tratam lixiviados de aterro sanitário', *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(1), pp. 183–196. doi: 10.1590/S1413-41520201600100136031.
- Ciešlik, B. M., Namieśnik, J. and Konieczka, P. (2015) 'Review of sewage sludge management: Standards, regulations and analytical methods', *Journal of Cleaner Production*, 90, pp. 1–15. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.11.031.
- Clarke, G. and Wright, J. W. (1964) 'Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points', *Operations Research*, 12(4), pp. 568–581. doi: 10.1287/opre.12.4.568.
- Crespo Carvalho, J. M. (2004) *Logística*. 3ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo, Lda. doi: 182557/04.
- Das, S. and Bhattacharyya, B. K. (2015) 'Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 43, pp. 9–18. doi: 10.1016/j.wasman.2015.06.033.
- European Federation for Transport and Environment (2015) 'Too big to ignore – truck CO₂ emissions in 2030', (September), pp. 2–4.
- Friedrich, E. and Trois, C. (2013) 'GHG emission factors developed for the collection, transport and landfilling of municipal waste in South African municipalities', *Waste Management*, 33(4), pp. 1013–1026. doi: 10.1016/j.wasman.2012.12.011.
- Fruergaard, T., Astrup, T. and Ekvall, T. (2009) 'Energy use and recovery in waste management and implications for accounting of greenhouse gases and global warming contributions', *Waste Management & Research*, 27(8), pp. 724–737. doi: 10.1177/0734242X09345276.

- Ghose, M. K., Dikshit, a K. and Sharma, S. K. (2006) 'A GIS based transportation model for solid waste disposal--a case study on Asansol municipality.', *Waste management (New York, N.Y.)*, 26(11), pp. 1287–1293. doi: 10.1016/j.wasman.2005.09.022.
- Hashi, E. K., Hasan, M. R. and Zaman, M. S. U. (2016) 'A heuristic solution of the Vehicle Routing Problem to optimize the office bus routing and scheduling using Clarke & Wright's savings algorithm', *1st International Conference on Computer and Information Engineering, ICCIE 2015*, pp. 13–16. doi: 10.1109/CCIE.2015.7399306.
- Hauser, L. D. (2015) 'Evaluating the Air Emissions from Solid Waste Refuse Trucks', p. 280.
- Kacprzak, M. et al. (2017) 'Sewage sludge disposal strategies for sustainable development', *Environmental Research*, 156(January), pp. 39–46. doi: 10.1016/j.envres.2017.03.010.
- Kaveti, N. (2017) 'HeuristicsVRP: Implementation of heuristic algorithms for finding greedy routes.'
- Li, F., Golden, B. and Wasil, E. (2007) 'The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results', *Computers and Operations Research*, 34(10), pp. 2918–2930. doi: 10.1016/j.cor.2005.11.018.
- Maryam, A. and Yousefikhoshbakht, M. (2017) 'A Combination of Meta-heuristic and Heuristic Algorithms for the VRP, OVRP and VRP with Simultaneous Pickup and Delivery', *BRAIN: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 8(2), pp. 81–95. Available at: <https://www.edusoft.ro/brain/index.php/brain/article/view/691/769>.
- Pichpibul, T. and Kawtummachai, R. (2013) 'A heuristic approach based on Clarke-Wright algorithm for open vehicle routing problem', *The Scientific World Journal*, 2013. doi: 10.1155/2013/874349.
- R Development Core Team, R. (2011) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing. doi: 10.1007/978-3-540-74686-7.
- Raff, S. (1983) 'Routing and scheduling of vehicles and crews. The state of the art', *Computers and Operations Research*, 10(2). doi: 10.1016/0305-0548(83)90030-8.
- Raheem, A. et al. (2018) 'Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review', *Chemical Engineering Journal*. Elsevier, 337(December 2017), pp. 616–641. doi: 10.1016/j.cej.2017.12.149.
- Shen, Z. and Ord, F. (2007) 'The Stochastic Vehicle Routing Problem for Large-scale Emergencies', *Working Paper*, pp. 1–33. doi: 10.1007/978-0-387-88617-6_13.
- Subramanian, A., Uchoa, E. and Ochi, L. S. (2013) 'A hybrid algorithm for a class of vehicle routing problems', *Computers and Operations Research*. Elsevier, 40(10), pp. 2519–2531. doi: 10.1016/j.cor.2013.01.013.
- Tarantilis, C. D. and Kiranoudis, C. T. (2002) 'Distribution of fresh meat', *Journal of Food Engineering*, 51(1), pp. 85–91. doi: 10.1016/S0260-8774(01)00040-1.
- Vecchi, T. P. B. et al. (2016) 'A sequential approach for the optimization of truck routes for solid waste collection', *Process Safety and Environmental Protection*. Institution of Chemical Engineers, 102, pp. 238–250. doi: 10.1016/j.psep.2016.03.014.
- Wang, Q. et al. (2017) 'Technologies for reducing sludge production in wastewater treatment plants: State of the art', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 587–588, pp. 510–521. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.203.

DADOS DOS AUTORES

Jeysa Passos (jp Passos@ipportalegre.pt). Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Bolsista de Investigação no Centro de Investigação para a Valorização de Resíduos Endógenos – VALORIZA. *Campus Politécnico*, 10, 7300-555 Portalegre, Portugal.

Gonçalo Lourinho (glourinho@gmail.com). Engenheiro Ambiental e de Energias Renováveis e mestre em Tecnologias em Valorização Ambiental e Produção de Energia pelo Instituto Politécnico de Portalegre. *Campus Politécnico*, 10, 7300-555 Portalegre, Portugal.

Octávio Alves (octavio.alves@ipportalegre.pt). Licenciado em Engenharia Eletromecânica e mestre em Tecnologias em Valorização Ambiental e Produção de Energia pelo Instituto Politécnico de Portalegre. *Campus Politécnico*, 10, 7300-555 Portalegre, Portugal.

Paulo Brito (pbrito@ipportalegre.pt). Engenheiro Químico e doutor em Engenharia Química. Professor com agregação no Instituto Politécnico de Portalegre e coordenador do Centro de Investigação para a Valorização de Resíduos Endógenos – VALORIZA. *Campus Politécnico*, 10, 7300-555 Portalegre, Portugal.

OLHAR DO PROFESSOR SOBRE A VIOLÊNCIA SEXUAL: CONTRIBUIÇÕES PARA PROFISSIONAIS DE SAÚDE

Rosane Teresinha Fontana

Marina Manzoni Boff

Carine Amabile Guimarães

Zaléia Prado de Brum

RESUMO: O objetivo deste trabalho é investigar saberes e práticas de professores sobre a violência sexual de crianças e adolescentes e construir um material educativo para promover educação em saúde sobre o tema. Trata-se de uma pesquisa descritiva, com uma abordagem qualitativa e aplicada. Participaram do estudo professores do ensino fundamental e médio de duas escolas estaduais. O estudo respeitou os preceitos éticos para a pesquisa com seres humanos. Identificaram-se lacunas no conhecimento de alguns professores, embora a maioria tenha concepções adequadas sobre o fenômeno. Educar para a prevenção da violência pode ser, portanto, uma estratégia para promover a saúde de crianças e adolescentes.

Palavras-chave: Crianças. Adolescentes. Abuso sexual. Promoção em saúde. Serviços de saúde escolar.

ABSTRACT: This paper aims to investigate teachers' knowledge and practices about sexual violence of children and adolescents and to construct an educational material to promote health education on the subject. This is a descriptive research, with a qualitative and applied approach. Primary and secondary school teachers from two state schools participated in the study. The study respected the ethical precepts for research with human beings. Gaps have been identified in the knowledge of some teachers, although most have adequate conceptions about the phenomenon. Therefore, educating for the prevention of violence can be a strategy to promote the health of children and adolescents.

Keywords: Child. Adolescent. Sexual abuse. Promotion in health. School health services.

INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define a violência que envolve crianças e adolescentes como todas as formas de maus-tratos emocionais e/ou físicos, abuso sexual, negligência ou tratamento negligente, comercial ou outras formas de exploração, com possibilidade de resultar em danos potenciais ou reais à saúde das crianças, sobrevivência, desenvolvimento ou dignidade no contexto de uma relação de responsabilidade, confiança ou poder (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1998). O abuso sexual é qualquer prática em que o adulto submete um menor de idade para satisfação sexual, podendo envolver estimulação, força física, ameaça e até mesmo sedução com palavras. Nesse sentido, diversos atos podem ser praticados, tais como: manipulação da genitália, pornografia, estupro, exibicionismo, entre outros (BRASIL, 2014).

O Portal Brasil, publicou em 2014, que a segunda violência mais comum contra crianças de 0 a 9 anos é o abuso sexual, ficando uma posição abaixo apenas do abandono e negligência. Esses dados são do sistema de Vigilância de Violências e Acidentes (VIVA), do Ministério da Saúde, que tornou obrigatória a notificação de casos em todos os estabelecimentos de saúde, de modo a possibilitar que a sociedade tome conhecimento do fenômeno, suas formas e gravidade (BRASIL, 2014). Somente em 2017, mais de 84 mil casos de violência contra crianças e adolescentes foram registrados no Brasil, sendo 9.138 relativos à violência sexual (BRASIL, 2017).

Uma pesquisa registrou que, nesses casos, homens com idade média de 36 anos agrediram mais, e que as vítimas tinham entre 12 a 14 anos de idade. Quanto à possível proximidade do agressor com a vítima, constatou-se que o próprio pai e padrasto são os maiores agressores, seguido de vizinhos e namorado. Em 91,1% dos casos, não foi usada nenhuma espécie de arma para intimidação da vítima. O local da agressão foi, na maioria dos casos, no ambiente familiar, na residência do agressor, seguido de via pública e motel, respectivamente. Quanto ao turno

da agressão, verificou-se prevalência no turno vespertino. As principais categorias identificadas quanto ao tipo de violência sexual praticada foram, por ordem decrescente: sexo vaginal; carícias, descritas como esfregar-se no corpo da vítima ou passar a mão pelo corpo, manipulação de genitália, exibicionismo e práticas eróticas; sexo anal e sexo oral (SOARES *et al.*, 2016).

Estudo documental em que foram analisados 927 laudos do Departamento Médico-Legal de uma capital brasileira, resultantes de perícias psiquiátricas e psicológicas realizadas entre os anos de 2009 e 2011, também identificou que a maior incidência de violência sexual contra crianças e adolescentes está na faixa etária compreendida entre 11 e 14 anos, e do tipo abuso intrafamiliar. Quanto aos sintomas identificados nos laudos, destacaram-se: sintomas depressivos, medo ou pânico, prejuízo no desempenho escolar ou dificuldades de concentração, ansiedade, lembranças intrusivas ou pensamentos recorrentes, comportamento agressivo, alterações do sono e isolamento social e, quanto aos quadros psicopatológicos, destacaram-se os quadros depressivos, quadros associados ao estresse e transtornos de ansiedade (SILVA; GIL; GAVA, 2013).

Para identificar uma suposta exposição à violência sexual, um dos primeiros sinais a ser considerado é a mudança comportamental do indivíduo, que pode ser notada facilmente, pois se apresenta de forma repentina. Medo não apresentado anteriormente de situações e pessoas e mudanças no humor, são indicativos, levando em consideração que a mudança de comportamento pode ser relacionada tanto a uma pessoa específica, quanto ao próprio agressor. A aproximação em demasia de uma determinada pessoa também pode ser um forte indicício. É necessária atenção, inclusive dentro da própria família, em situações em que a criança desaparece por um período, com determinada pessoa, de forma recorrente. Muitas vezes, há a manipulação emocional da vítima, que, pela pouca idade, não tem condições de discernir a situação de violência sexual em que se encontra (MENDONÇA, 2017).

Figura 1 – Consequências da violência

Físicas	Emocionais	Cognitivas	Comportamentais	Psicopatologias
Lesão corporal	Ansiedade	Autoimagem pobre/Baixa autoestima	Agressividade	Transtorno de estresse pós-traumático
Mutilações	Culpa	Confusão quanto à identidade de gênero e orientação sexual (meninos)	Baixo rendimento escolar	Transtornos de ansiedade
Fissura e dilatação anal		Dificuldade de aprendizagem	Comportamento autodestrutivo	Transtornos de humor
Doenças sexualmente transmissíveis	Medo	Dissociação	Comportamento externalizante	Transtornos alimentares
	Raiva	Paranoia	Comportamento regressivo	Transtornos somatoformes
		Pensamentos obsessivos	Fugas de casa	Transtornos relacionados a substâncias
		Pesadelos	Ideação e conduta suicida	
			Problemas interpessoais	
			Problemas legais	
			Comportamento hipersexualizado	
			Sintomas obsessivo-compulsivos	

Fonte: Hohendorff; Patias (2017).

Essas crianças ou adolescentes podem ainda serem chantageados emocionalmente ou com presentes, em troca do segredo quanto à violação. Podem apresentar quietude e distanciamento de contato físico. Há também sinais que podem ser visíveis, como a violência física, com lesões pelo corpo, e que inclusive são usadas para evidências de provas. Deve-se atentar aos hematomas, lesões, hemorragias e edemas nas regiões genitais. A vítima expõe-se ainda ao risco de contrair uma infecção sexualmente transmissível ou uma gravidez (MENDONÇA, 2017).

Quando crianças ou adolescentes são vítimas de violência e não recebem ajuda por parte da comunidade, da escola, ou da sociedade, “internalizam a concepção de que a agressão é algo aceitável, assim perpetuando a espiral da violência. Daí a importância da escola na criação de um ambiente de acolhimento, que propicie a escuta de crianças e adolescentes que vêm vivenciando situação de violência sexual”. A escuta é o primeiro passo para auxiliar os que manifestam a necessidade de apoio. O educador pode e deve ser um grande aliado dessas vítimas, por isso, é importante que conheça as dimensões do fenômeno e saiba como enfrentá-lo (SILVA, 2018).

Assim, o professor pode ser um agente de combate ao abuso sexual dos estudantes, visto que passa algumas horas do dia com eles, tendo condições de observar alterações no comportamento. Deve ele se capacitar sobre o assunto e não deve ter receio de denunciar. Deve também saber abordar a vítima a fim de não gerar mais estresse e possibilitar as revelações necessárias para denunciar ao Conselho Tutelar, agente do

estado que tem a missão de investigar os casos (CATARINO; ALMEIDA, 2017). Acrescenta-se, nesta configuração, o profissional de saúde, que não pode abster-se de integrar a rede protetiva à criança e ao adolescente.

Frente a isso, entende-se como necessário que os profissionais da saúde envolvam-se com temas que fragilizam a vida de crianças e adolescentes, não só para cuidar, mas também para educar professores e estudantes quanto à prevenção desse fenômeno e minimização de agravos físicos e mentais. Muitas vezes, os profissionais da saúde se veem despreparados, com dificuldades para o enfrentamento da violência perpetrada, visto que envolve dogmas culturais, legais e éticos. É fundamental conhecer a legislação, para poder amparar as crianças e adolescentes vítimas de abusos sexuais (SILVA; FERRIANI; SILVA, 2011). O cuidado da vítima exige conhecimentos sobre a abordagem, o acolhimento e os encaminhamentos.

Entre outros avanços legais para atendimento dos direitos das crianças e dos jovens brasileiros, está a criação do Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA) (BRASIL, 1990) e a Lei nº 12.845/13 (BRASIL, 2013), que torna obrigatório o acolhimento, pelo Sistema Único de Saúde (SUS), das vítimas de abuso sexual, de forma integral e imediata. Há expressa determinação legal para que todos os hospitais do SUS ofereçam os seguintes serviços:

- I - diagnóstico e tratamento das lesões físicas no aparelho genital e nas demais áreas afetadas;
- II - amparo médico, psicológico e social imediatos;

III - facilitação do registro da ocorrência e encaminhamento ao órgão de medicina legal e às delegacias especializadas com informações que possam ser úteis à identificação do agressor e à comprovação da violência sexual;

IV - profilaxia da gravidez;

V - profilaxia das Doenças Sexualmente Transmissíveis (DST);

VI - coleta de material para realização do exame de HIV para posterior acompanhamento e terapia;

VII - fornecimento de informações às vítimas sobre os direitos legais e sobre todos os serviços sanitários disponíveis (BRASIL, 2013).

A Lei nº 13.440/17, por sua vez, prevê a perda obrigatória de bens para quem se envolver com casos de prostituição e exploração sexual, incluindo reclusão de quatro a dez anos e multa, e a Lei nº 13.441/2017 diz respeito à infiltração da polícia nos meios eletrônicos para investigar os crimes de caráter sexual. Pela Lei nº 13.431/17, a criança tem o direito de ser escutada em local propício e onde se sinta segura e não tenha contato algum com o acusado, de modo que toda a sua intimidade seja preservada de forma privativa (BRASIL, 2017).

Um estudo demonstrou que a notificação dos casos ainda é tímida. Em relação às notificações de casos de violência sexual infanto-juvenil em um município do Ceará, foi identificado que, em dois anos, são praticamente inexistentes. Os motivos, segundo os profissionais, envolvem a falta de comunicação da rede de atendimento à saúde. E mais: apenas a patologia física é tratada, não se levando em consideração o emocional. Em casos ocorridos em municípios pequenos, a equipe pode sofrer ameaças por parte dos agressores (SÁ *et al.*, 2016), favorecendo ainda mais a subnotificação.

É necessário que o profissional atenda ao dever do sigilo e transmita confiança ao indivíduo abusado, para colher o máximo de informações e poder prestar assistência humana e eficaz. Não há um protocolo a ser seguido quando se trata desse assunto, sendo necessário olhares humanos e integrais desse profissional para tratar o caso; entretanto, existem algumas recomendações que podem alicerçar a sua atuação. “O cuidado deve ser planejado para promover segurança, acolhimento, respeito e satisfação das necessidades individuais, e isto, será possível se for estabelecida uma relação de cuidado entre profissional e cliente” (SOUZA *et al.*, 2016, p. 922). Oportuno é considerar que, quando se desconfia de um caso de violência sexual, é necessário procurar ajuda especializada, por exemplo, do Conselho Tutelar, do Centro de Referência Especializado Da Assistência Social (CREAS), da Vara da Infância e da Juven-

tude, do “Disque 100”, a fim de encontrar meios de abordagem e atenção (MENDONÇA, 2017; HOHENDORFF; PATIAS, 2017).

É função dos profissionais de saúde orientar pais, crianças e adolescentes sobre o tema. O foco deste estudo é promover ações educativas nas escolas, sobre prevenção desses agravos e de diagnóstico precoce. Deve-se avaliar a vítima por meio da anamnese, exame físico e exames laboratoriais, sendo obrigatória a notificação do caso suspeito, visto que se caracteriza como fato criminal e tratado no Código Penal Brasileiro. O Ministério da Saúde e a OMS recomendam que seja realizada coleta de material para exames laboratoriais e forenses. Deve ser colhido material (*swab*) das cavidades oral, vaginal e retal, como também fazer coleta para culturas, pesquisa sorológica para IST/HIV, hepatites, sífilis, tipagem sanguínea, fosfatases e pesquisa de DNA. Orientam ainda sobre o acondicionamento de amostra de sêmen, sangue e células epiteliais e encaminhamentos. Além disso, devem ser tomadas, em alguns casos, medidas para anticoncepção de emergência, realizar exame sanguíneo e ultrassonografia, para diagnosticar gravidez. A literatura dá ênfase à importância do conhecimento dos profissionais de saúde sobre as políticas de enfrentamento do fenômeno e das normas técnicas para o diagnóstico adequado (SILVA; FERRIANI; SILVA, 2011).

O processo educativo com a parceria das escolas pode ocorrer nos três níveis. Na atenção primária, devem-se empenhar esforços para reduzir a incidência e a prevalência dos casos, adotando-se estratégias para atingir esse objetivo. Nesse nível, as ações de educação em saúde na escola podem contribuir para minimizar o problema, visto que pode instrumentalizar professores a detectar precocemente sinais emitidos pelas crianças e jovens vítimas de violência sexual e agir como um ator de prevenção dentro do espaço escolar (SACRAMENTO *et al.*, 2017).

Na atenção secundária, podem-se identificar, no atendimento, comportamentos abusivos por parte dos familiares, risco para a violência e indícios de violência já sofrida. O foco também deve ser a adoção de estratégias de prevenção ou minimização dos problemas identificados, e a escola pode ser um local privilegiado para atuar em conjunto com a unidade de saúde. Na atenção terciária, visto que já ocorreu a violência, o profissional deve estar focado no tratamento dos problemas físicos e/ou psicológicos e na prevenção da recorrência da violência. O foco, nesse momento, é buscar estratégias para melhorar o relacionamento familiar e para proteger a

pessoa em situação de risco (SACRAMENTO *et al.*, 2017). Isso pode ser fomentado pela escola por meio de oficinas temáticas, reuniões de pais, junto aos psicólogos e psicopedagogos escolares. Como se percebe, a escola pode ser uma instituição parceira em todos os níveis de atenção.

As ações para abordagem da família podem ser feitas por meio de orientação aos pais sobre o direito de a criança crescer sem violência e os efeitos dessa violência para a saúde da vítima, buscando adesão ao tratamento e esclarecendo sobre os deveres dos adultos em relação à segurança e ao bem-estar das crianças. São recomendadas ações a serem realizadas nos serviços de atenção primária, secundária e terciária. “A proteção à vítima é efetivada com ações realizadas especialmente junto às mães, já que, segundo os autores, em muitos casos, a violência ocorre por longo tempo sem o conhecimento da mesma” (SILVA; FERRIANI; SILVA, 2011, p. 922).

Fundamental é salientar que a formação acadêmica dos profissionais de saúde deve estar atenta às vulnerabilidades sociais e à atualização constante dos temas que as envolvem. Um estudo apontou a dificuldade da equipe de enfermagem, por exemplo, ao delimitar sua função diante de vítimas de abuso sexual, adquirindo um olhar restrito aos cuidados voltados para dimensões burocráticas, como o preenchimento de notificações (SÁ *et al.*, 2016).

Há diversas barreiras para enfrentar a violência sexual contra os jovens, incluindo o posicionamento dos profissionais da saúde ou a falta deles. Muitas vezes, é desconhecido seu real valor na sociedade, na vida das pessoas e famílias, de modo que se ratifica a necessidade de conhecer o assunto, baseando-se em referências científicas para compreender a magnitude do problema (SILVA; FERRIANI; SILVA, 2011).

Pensando na articulação entre saúde e a população, criou-se, no Brasil, em 2007, o Programa Saúde na Escola (PSE), voltado para crianças, adolescentes e adultos de escolas públicas, para a promoção de saúde e educação. Esse encontro multiprofissional nas escolas implica dar um maior suporte de conhecimento ao público. Nesse programa, diversos temas são trabalhados e profissionais da saúde trabalharão temas junto com os professores ali inseridos. É um encontro entre a rede escolar pública e a Unidade Básica de Saúde do município (BRASIL, 2018).

Porém, estudos que avaliaram o funcionamento do Programa e suas ações em instituições contempladas identificaram a existência de

fragilidades e limitações na articulação e integração intersetorial. A apreensão dos papéis e responsabilidades ainda não está bem definida; há um distanciamento temporal entre os documentos oficialmente instituídos e a criação de uma cultura de saúde que se viabiliza no espaço educativo; há pouca participação das equipes escolares, seja do corpo diretivo, seja dos professores, além da distância acerca da responsabilização da escola. Foi percebido que a saúde vai à escola em vez de a escola promover saúde, e o conhecimento ainda é transmitido aos estudantes em detrimento da construção, problematização e reflexão conjunta. Os professores, na maioria das vezes, reproduzem apenas os ensinamentos e as instruções da saúde. Há lacunas na capacitação para a ação (SILVA-SOBRINHO *et al.*, 2017; SOUSA; ESPERIDIÃO; MEDINA, 2017).

Assim, a prevenção da violência perpassa pela construção de uma nova cultura de educar em saúde e por atividades pedagógicas internas e externas à sala de aula e envolvendo educadores, profissionais da área da saúde, das organizações não governamentais, dos conselhos. São relevantes as parcerias no processo de promoção da saúde e desenvolvimento da sexualidade das crianças e dos adolescentes (PORTILHO, 2011).

Assuntos como sexualidade e violência sexual não são comumente abordados na formação inicial ou em cursos de formação continuada, limitando a atuação dos professores. É um tema, muitas vezes, conduzido por valores pessoais, e não a partir de um conhecimento sistematizado no qual se pode pensar a prevenção por meio da educação para a sexualidade.

Educação para a sexualidade deve ser realizada já na Educação Infantil, com o intuito de promover a reflexão com as crianças sobre a sexualidade, corpo e gênero, ensinando-as a questionar os valores hegemônicos sobre sexualidade transmitidos pelas mídias e pelas diversas instituições. É a partir da educação normativa e não reflexiva que se se constrói uma hierarquia na relação de poder, onde o homem é educado para dominar os demais, a mulher para obedecê-lo e a criança para ser submissa a ambos, por serem adultos. Dessa maneira, a violência sexual infantil se torna um reflexo dessa educação, na qual as categorias de gênero e geração apresentam níveis de poder. A fim de desconstruir tais padrões, a educação para a sexualidade pode vir a educar a criança a não reproduzir tais valores ao longo do seu desenvolvimento (SPAZIANI; MAIA, 2015, p. 971).

Diante disso, visto que esse tema tem apresentado grande visibilidade junto aos meios de comunicação na atualidade e despertado na sociedade a necessidade de atitudes preventivas, e sendo os profissionais de saúde peças funda-

mentais nos processos de educação em saúde e em parcerias entre as instituições públicas e privadas, esse estudo se justifica.

Sendo a escola um local privilegiado para a educação em saúde, visto que seus atores estão num constante movimento de aprender e reaprender, entende-se que há necessidade de educar aqueles que têm a tarefa de educar outros. Conhecer saberes e ações de professores sobre o tema e intervir com ações de educação em saúde sobre a violência sexual às crianças e adolescentes possibilita que mais precocemente haja detecção de atitudes e sinais advindos de violação sexual, o que favorece sua abordagem e prevenção. O envolvimento de educadores capacitados, como agentes de prevenção e identificação desses agravos, pode facilitar o encaminhamento e a resolutividade dessa situação, diminuindo sofrimento, punindo culpados e devolvendo à vítima a esperança de uma vida melhor. A escola deve fazer parte da rede de prevenção às vulnerabilidades sociais.

Há de se discutir que o tema possibilita reflexões para inclusão, nos cursos de licenciatura, de disciplinas que possam abordar a educação sexual, preparando os futuros professores para diagnosticar casos e saber que atitudes tomar frente aos fatos (PORTILHO, 2011), ou agravos de qualquer natureza. Nesse contexto, é válida uma consideração. Em muitos cenários escolares, o tema saúde é abordado unicamente pelas disciplinas de Ciências e Biologia e de forma reducionista, biomédica. Essa situação não constitui, por si só, uma redução do tema saúde, mas é consumada quando o tema saúde é tratado exclusivamente pela abordagem biomédica, ou por qualquer outra forma que valorize uma única dimensão em detrimento de outras. "Tratar o tema saúde de maneira a dar exclusividade a um viés de abordagem implica diretamente na negação da influência de outros determinantes que atuam mutuamente sobre o estado de saúde" (GUSTAVO; GALIETA, 2014, p. 3).

Os professores, como protagonistas no processo de educar para a saúde, devem estar preparados para essa conformação. Esse tema deve tangenciar o currículo de sua formação acadêmica. Além disso, devem ser oportunizados momentos para que esses profissionais possam discutir suas práticas, para atualizar conhecimentos sobre a saúde individual e coletiva para que, efetivamente, a escola seja um espaço de ações promotoras de saúde e de prevenção de agravos, atuando um elemento fundamental e intersetorial comprometido com as questões do escopo da saúde coletiva de suas crianças,

adolescentes, jovens e comunidade em geral (FONTANA, 2018).

O objetivo desse estudo foi investigar saberes e práticas de professores sobre a violência sexual de crianças e adolescentes e construir um material educativo para promover educação em saúde sobre o tema.

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa descritiva, com uma abordagem qualitativa e aplicada. Participaram do estudo professores do ensino fundamental e médio de duas escolas estaduais, visto que são as únicas escolas estaduais do município. Optou-se por abordar o tema nas escolas públicas estaduais. Outras escolas compõem a rede pública do município em estudo, porém, não contam com o ensino médio.

A coleta de dados foi feita em duas escolas estaduais, ou seja, todo o universo de escolas estaduais do município, no segundo semestre de 2018. As duas escolas possuem funcionamento de 60 horas semanais, contando com uma demanda de, em média, 800 alunos em cada uma delas, distribuídos entre ensino fundamental e ensino médio. As turmas iniciam-se no primeiro ano do ensino fundamental, findando no terceiro ano do ensino médio. Uma das escolas conta com aproximadamente 71 funcionários e a outra, com aproximadamente 43 funcionários. Os dados foram coletados por meio de um questionário que, depois de respondido, era colocado em uma urna.

Os dados foram analisados por meio da metodologia de Análise de Conteúdo das Falas na modalidade temática.

O estudo respeitou a Resolução nº 466/12 que trata da pesquisa em seres humanos. Foi oferecido um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos participantes e uma Declaração de Instituição coparticipante às escolas. A coleta de dados somente foi iniciada após aprovação do comitê de ética da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, sob número 2.833.779.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Participaram do estudo 16 educadores do ensino fundamental e do ensino médio, 13 educadores do ensino fundamental e 5 educadores do ensino médio, de um universo de 34 professores.

As concepções sobre violência sexual

Grande parte dos respondentes concebeu a violência sexual como abuso contra crianças e adolescentes.

Os participantes demonstraram conhecimentos sobre o tema. Grande parte associou a violência sexual a toques, exposição, abuso sexual, pornografia, “molestar sexualmente”, carícias, palavras abusivas, tocar partes íntimas da criança ou adolescente, entre outros.

A violência sexual infantojuvenil é praticar atos que mexam com a sexualidade de crianças até 12 anos. [Amarílis]

Quando a criança ou adolescente é abusada em casa, na escola ou em qualquer outro ambiente por adultos (Violência Física e Emocional). [Dália]

Já ouvi falar. É uma violência praticada contra crianças ou adolescentes que causa sofrimento psicofísico. [Begônia]

É a utilização de crianças e adolescentes para atos sexuais, carícias ou palavras abusivas. [Lírio]

São abusos que o jovem/criança sofre por adultos. Com toques, exposição, e casos mais graves. [Magnólia]

A palavra “molestar” foi citada diversas vezes, fazendo com que se perceba que o profissional faz uma relevante associação entre essa forma de violência com o abuso. Entre os vários significados de molestar, encontram-se como sinônimos: causar mágoa, desgosto ou aborrecimento; sentir incômodo ou enfado; enfadar(-se), importunar(-se), incomodar(-se), tirar o sossego; desassossegar, inquietar, importunar sexualmente, principalmente crianças e mulheres, causar moléstia a; afetar, atingir (MOLESTAR, 2019).

Quando uma criança ou adolescente é obrigado ou manipulado a manter relações sexuais com outro adolescente ou adulto, pode ser molestado, pela internet através de fotos e outros [...]. [Miosótis]

Quando a pessoa é molestada sexualmente, o que a mudança repentina ou comportamento pode denunciar. Causando danos físicos e psicológicos. [Petúnia]

Alguns professores entendem que a violência é causadora de danos tanto mentais quanto físicos. Muitos professores entendem que a violência sexual poderá ser precursora de danos mentais e físicos para as crianças e adolescentes, demonstrando grande preocupação acerca do tema.

Muito sério, preocupante e que causa problemas graves na mentalidade das crianças. [Miosótis]

Muito preocupante, pois causa danos gravíssimos na mentalidade e muitas vezes físico nas crianças. [Prímula]

Que o jovem sofre muitos tipos de abuso, não é só de maneira brutal, como também de forma psicológica. Já ouvi alguns jovens falar que são virgens e são discriminados. [Tulipa]

É um ato de abuso onde as barreiras físicas, psicológicas são invadidas destruindo sonhos e a inocência das pessoas abusadas. [Rosa]

O abuso sexual infantil é uma das mais danosas formas de violência, prejudicando o indivíduo de forma integral. Porém, os avanços para prevenção são muito sutis, fazendo com que o mesmo continue ocorrendo com suas consequências imensuráveis (SÁ *et al.*, 2016).

Durante a jornada profissional dos professores, muitos identificaram que a maioria dos abusadores de crianças e adolescentes são pessoas que estão em maior contato com a vítima, dificultando ainda mais o processo de detecção, como é destacado a seguir:

Entendo ser um abuso que crianças e adolescentes sofrem, muitas vezes, de pessoas próximas a elas. [Iberis]

[...] uso de ameaças e violência, normalmente os praticantes são pessoas do convívio. [Lírio]

[...] Muitas vezes ocorrendo nas famílias e que geram traumas. [Magnólia]

Ao perceberem que os casos confirmados ou suspeitos de violência sexual estão cada vez mais frequentes, os entrevistados demonstraram muita preocupação diante da situação.

O tema é preocupante, deve ser tratado com seriedade. [Begônia]

É de extrema importância [o tema] e deve ser abordado. Inclusive será importante o tema estar dentro os conteúdos trabalhados na escola. [Urze]

A violência, por ser uma questão social, tem estrita relação com a saúde, pois se associa com a qualidade de vida e com lesões físicas e emocionais, que necessitam de cuidados. As violências e os acidentes têm demandado uma melhor organização do setor saúde numa nova lógica de atendimento com equipe interdisciplinar, articulada em rede com outros setores da sociedade que também atendem às vítimas. Diante dessa realidade, surgiu uma nova exigência de cuidados de saúde, diferentes daqueles já tradicionais e “gerou a urgência de capacitação das equipes para atender às especificidades dos casos de crianças e adolescentes, mulheres e pessoas idosas vítimas, sobretudo, de maus-tratos domésticos e das instituições de abrigamento” (MYNAIO *et al.*, 2018).

É fundamental também que se pense numa espécie de “padronização de conduta” para tra-

tar desses casos. Um estudo apontou que, quanto às atitudes adotadas por professores diante de uma situação de violência, 38,4% afirmaram que usariam o diálogo e 21,3% denunciariam ao Conselho Tutelar e outros. Em menor porcentagem, tratariam o caso com a diretora da escola, ou chamariam os pais ou responsáveis. Esses dados demonstram que não há uma normatização quanto à conduta a ser tomada, situação que dificulta uma ação mais intensa (GARBIN *et al.*, 2015).

A identificação de sinais de possível abuso sexual pelos professores

Essa forma de violência pode ser difícil de ser diagnosticada, pois muitas vezes o abusado não possui marcas visíveis e é comum que eles não verbalizem sobre a violação, pois pode haver manipulação psicológica por parte do adulto. Visto isso, percebe-se a importância de o educador estar capacitado para esse combate, para poder intervir de forma imediata (LUSTOSA *et al.*, 2014).

O abuso sexual infanto-juvenil tem ocorrido de forma recorrente. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) identificou, em um estudo sobre o tema, que mais de 70% das vítimas eram menores de idade (MENDONÇA, 2017), corroborando com a prerrogativa de que esses indivíduos frequentam diariamente a escola e é indispensável que os professores conheçam sinais exibidos para a detecção correta. A maioria dos professores percebe os sinais de violência como:

Choro compulsivo, tristeza, timidez, entre outros. [Rosa]

Mudança de comportamento, solidão, revolta, timidez, choro. [Zinia]

Muitas vezes apresenta-se retraído, com medo, choroso. [Tulipa]

Medo repentino de ficar só, chorar, dor, manchas pelo corpo, mudanças emocionais. [Hortência]

O aluno apresenta mudanças de comportamento. [Bardana]

[...] mudança de atitudes, como se isolar, sentir medo de se entrosar com outras crianças, enfim se torna uma criança mais introspectiva. [Iberis]

Muitos são os sinais, que irão se apresentar de forma coletiva e, dificilmente, isolada. Há enfermidades de natureza emocional, como regurgitação, cefaleia e demais dificuldades digestivas, controles esfinterianos rebaixados, com urgências miccionais ou de evacuação, dificuldade na deglutição, em virtude do sexo oral forçado. No que tange ao comportamento, poderá apresentar mudança súbita em suas atitudes, ocorrendo flutuação de humor. Medo exacerbado de pessoas, principalmente do abusador. Constrangimento notável ao trocar de

roupa. Sentimento de culpa constante, assim como ansiedade generalizada. Atitudes agressivas e incontroláveis. Em relação à sexualidade, é percebida uma excessiva curiosidade sexual, podendo ocorrer masturbação em público. Reprodução de desenhos contendo órgãos genitais, considerados incompatíveis com a idade. Dentro da evolução escolar, o aluno poderá apresentar queda no seu rendimento, além de falta de concentração e ausência recorrente (CATARINO; ALMEIDA, 2017).

Pode-se perceber parcial entendimento por parte dos professores sobre os sinais detectáveis de abuso sexual infanto-juvenil, visto que grande parte destes não foram citados em suas falas.

A abordagem do tema “violência” na escola

Diante da análise das falas, pode-se identificar que a maioria já participou de alguma formação continuada ou abordagem sobre a violência sexual às crianças e adolescentes. Entre os profissionais que mais abordaram o assunto na escola, estão médicos e representantes da justiça, contabilizando 23,5% e 17,6%, respectivamente. Os demais generalizaram suas respostas em “área da saúde”, não especificando suas respostas. Esse resultado demonstra que o enfermeiro ainda não está envolvido completamente nas atividades de promoção e prevenção ao abuso sexual infantil nas escolas.

A abordagem em sala de aula por parte dos professores com os alunos é positiva, representada por 71,4% dos respondentes, através de textos reflexivos, debates, diálogo, conversas, músicas, teatro. Os educadores que discutem entre si sobre a violência sexual ocorrida com seus alunos compõem 77,1% do total, sendo que 100% sentem necessidade de o assunto ser discutido de maneira informativa. Os educadores, por estarem em convívio diário com os alunos, deverão ser sensibilizados sobre a necessidade de aperfeiçoamento constante de seus saberes a respeito desse fenômeno.

No artigo 245 do Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA), afirma-se que qualquer indivíduo que suspeitar ou tiver confirmação de abuso tem a obrigação de notificar, confirmando a necessidade de o professor ser aliado nesse processo. Diz o referido artigo que é infração “deixar o médico, professor ou responsável por estabelecimento de atenção à saúde e de ensino fundamental, pré-escola ou creche, de comunicar à autoridade competente os casos de que tenha conhecimento, envolvendo suspeita ou confirmação de maus-tratos contra criança ou adolescente” (BRASIL, 1990).

A contribuição do enfermeiro na prevenção do abuso sexual a crianças e adolescentes

Observa-se que os professores acenam positivamente para a adesão dos profissionais de saúde nessas questões. Deve ele estar envolvido com a prevenção do abuso sexual infanto-juvenil, podendo contribuir de diversas formas, sendo nos processos de educação em saúde, na apreensão e diagnóstico dos sinais de violência ou nos encaminhamentos.

Esclarecer sobre os fatos que ocorrem, principalmente em relação às características para que, conhecendo, possa ajudar alguém que esteja passando pelo problema, claro, sem declarar nomes, tudo no anonimato. [Petúnia]

Acredito que ele pode nos orientar sobre os sinais que as vítimas de abuso podem apresentar. [Amarílis]

Acredito que pode ajudar muito, pelo menos, para tentar conscientizar os alunos, que é o que podemos fazer. [Alfazema]

Poderá auxiliar com palestras para abordar a criança e o adolescente sobre como cuidar de seu corpo e auxiliando os professores para ficar mais informados sobre o tema. [Miosótis]

Orientar para que os professores possam melhor identificar e encaminhar para os profissionais responsáveis. [Narciso]

O enfermeiro, que está muito próximo da comunidade, tem um papel essencial nesse processo. O cuidado do enfermeiro frente à violência sexual deve envolver o indivíduo de forma integral, em seus aspectos físicos e emocionais, estendendo-se ao cuidado com a família, abusador e demais envolvidos no contexto. A diligência do profissional para com a vítima deve ser realizada de forma perspicaz, com conversas, atenção e escuta, principalmente no que tange às dúvidas da vítima quanto à sua situação de pessoa abusada, além de fornecer à família informações sobre o desvelo que deverão ter com o indivíduo. É necessário estender o cuidado para todo o espaço em que a vítima está inserida e ter um olhar humano e sensível ao se deparar com esses fenômenos (LUSTOSA *et al.*, 2014).

Um estudo que buscou identificar práticas de enfermeiras diante de abuso sexual a crianças e adolescentes identificou que entre as maiores dificuldades de intervenção estão:

o pacto de silêncio estabelecido na família; o medo que os profissionais sentem por terem dúvidas no que se refere à resolução do problema e tomada de atitude pelos órgãos competentes a fim de interferirem positivamente em ocorrências dessa natureza; o temor de represálias, e a falta de apoio institucional e governamental para trabalhar com essas famílias (AVILA; OLIVEIRA; SILVA, 2012, p. 50).

A denúncia e a notificação também são ações que podem auxiliar a tirar o fenômeno da invisibilidade e proteger as crianças e adolescentes, vítima de abuso sexual. Para isso, é preciso haver pessoas dispostas a auxiliar, a correr riscos e contribuir para dar fim com os pactos de silêncio que alimentam a impunidade (AVILA; OLIVEIRA; SILVA, 2012).

Entidades de classe, as instituições de saúde e de ensino superior devem propor ações de qualificação dos profissionais de saúde, assim como apoio jurídico. A educação permanente é fundamental e as instituições de saúde podem realizar parceria com as universidades, o que permite uma troca de experiências entre os profissionais da assistência e os docentes.

Finalmente, é fundamental refletir sobre as questões sociais envolvidas no fenômeno da violência, as quais exigem uma reflexão profunda, com ações do poder público e da sociedade civil, envolvendo profissionais da educação e da saúde. Para alguns autores, a questão está associada à deficiência na estrutura familiar e de orientação; para outros, à pobreza, o que é uma relação simplista para um problema estrutural, visto que pobreza sempre esteve presente, em decorrência das desigualdades sociais e das diferenças entre classes; não como determinante de violência (GARBIN, 2015).

Após se analisarem os dados, foi feita a socialização dos resultados com os professores das escolas participantes, momento em que se discutiu com eles temas expressivos sobre a violência sexual às crianças e adolescentes, de forma a contribuir para minimizar os índices desse fenômeno. Também foi feita uma reflexão sobre os estudantes adolescentes, de modo a alertar e educar para o fenômeno. Além disso, foi elaborado um *banner* para ser afixado em local visível, a fim de que todos tivessem acesso a esse conhecimento, em especial aos sinais indicativos de violência e a quem se dirigirem diante desses casos na escola.

A fim de contribuir para a identificação da violência infantil, segue como sugestão para identificação da violência uma escala validada por Revorêdo *et al.* (2016).

Figura 2 – Parte de um instrumento validado para identificação da violência

Identificação da criança			
Nome ou número de identificação: _____	Número do cartão SUS (preenchimento não obrigatório): _____		
Data de nascimento: ____/____/____	Idade (em anos e meses): _____		
Sexo da criança: () Masculino () Feminino	Nome do cuidador responsável: _____		
Ano de escolarização da criança: _____ () Não se aplica (para crianças menos de quatro anos)	Telefone residencial/Celular/E-mail do cuidador responsável: _____		
Endereço da criança (ponto de referência): _____ _____			
Identificação da violência:			
Segue uma lista de sinais e sintomas que são indicadores de violência comuns em crianças			
Sinais comportamentais da criança:	SIM	NÃO	NÃO SE APLICA
Item 1. Mudança acentuada no comportamento que não seja esperada para sua idade ou explicada por uma situação estressante (como separação dos pais ou chegada de irmão). Exemplos: Afeções de pele com frequência e sem motivo aparente Agitação psicomotora Apatia Choro sem motivo aparente Distúrbios de alimentação Distúrbios do sono Gagueira Irritabilidade frequente Tiques Tristeza constante			
Item 2. Demonstração de carência afetiva perante profissionais de saúde			
Item 3. Demonstração excessiva de "bom" comportamento para evitar desaprovação parental e/ou mudança de comportamento na ausência dos pais			
Item 4. Deixar de aceitar conforto/afeição em situações angustiantes ou quando aparentar estar angustiada			
Item 5. Comportamento controlador da criança com os pais/cuidadores e/ou com pares			

Fonte: Revorêdo *et al.* (2016)

Figura 3 – Socialização da pesquisa nas escolas e informações sobre violência contra crianças e adolescentes



Fonte: Os autores (2018)

Figura 4 – Banner afixado nas escolas

ABUSO E EXPLORAÇÃO SEXUAL DE CRIANÇAS E ADOLESCENTES

MARCAS PARA TODA A VIDA

- Mudança comportamental ■
- Medo de situações e pessoas ■
- Aproximação em demasia com determinada pessoa ■
- Brincadeiras sexuais persistentes ■
- Dificuldade de concentração ■
- Queda no rendimento escolar ■
- Dificuldade em manter vínculo com os colegas ■
- Agressividade com pouca participação em sala de aula ■
- Hematomas pelo corpo ■

SINAIS QUE A CRIANÇA ABUSADA SEXUALMENTE PODE APRESENTAR:

Referência: BRASIL. Ministério da Saúde. **Abuso sexual é o 2º tipo de violência mais comum contra crianças, mostra pesquisa**, 29 jul 2014.

*Incluem-se como violência sexual os casos de assédio, estupro, pornografia infantil e exploração sexual, que podem se manifestar das seguintes maneiras: 8 abuso incestuoso; sexo forçado no casamento; jogos sexuais e práticas eróticas não consentidas; pedofilia; voyeurismo; manuseio; penetração oral, anal ou genital, com pênis ou objetos, de forma forçada. Inclui, também, exposição coercitiva/constrangedora a atos libidinosos, exibicionismo, masturbação, linguagem erótica, interações sexuais de qualquer tipo e material pornográfico. Ademais, se consideram os atos que, mediante coerção, chantagem, suborno ou aliciamento, impeçam o uso de qualquer método contraceptivo ou force ao matrimônio, à gravidez, ao aborto, à prostituição; ou que limitem ou anulem em qualquer pessoa a autonomia e o exercício de seus direitos sexuais e direitos reprodutivos.

*A violência tem consequências profundas para a saúde física e mental nas pessoas que a vivenciam, tendo impacto no desenvolvimento psicossocial das crianças e adolescentes, no bem-estar das famílias e das comunidades

*Atenção primária à saúde é o primeiro nível de atenção do sistema de saúde, constituindo-se na porta de entrada preferencial do SUS. As Equipes de Saúde da Família (ESF), apoiadas pelo Núcleo de Apoio à Saúde da Família (NASF), por estarem geograficamente muito próximos das famílias, têm maior possibilidade de identificar sinais e sintomas de violências em crianças e adolescentes, realizar o acolhimento, atendimento (diagnóstico, tratamento e cuidados), notificar os casos e encaminhar para a rede de cuidados e de proteção social. Dentre os serviços de atenção às pessoas em situação de violência sexual do Sistema de Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde estão: Serviço de referência para atenção integral às pessoas em situação de violência sexual, Centro de Atenção Psicossocial (CAPS), Ambulatórios, Hospitais, Unidade Básica de Saúde (UBS), Unidade de Pronto Atendimento (UPA), Pronto Socorro, Clínica/centro de especialidades, Policlínica ou unidade mista.

*Dada a sua natureza multidimensional, respostas eficazes e abrangentes exigem a articulação e integração das instâncias públicas governamentais e inter federativas de vários setores (como saúde, assistência social, educação, segurança pública, entre outros) e da sociedade civil, integrantes do Sistema de Garantia de Direitos da Criança e do Adolescente, na promoção, defesa e controle para a efetivação dos direitos desse público.

Referências:
BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em saúde. *Boletim Epidemiológico*, v.49, n. 27, 2016

DISQUE 100

Acadêmica de Enfermagem
Marina Manzoni Boff

Orientadora
Prof Dra Rosane Teresinha Fontana

URI

Fonte: Os autores (2018)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se a necessidade de qualificação e estruturação do serviço de saúde diante de tal fenômeno. É preciso refletir, discutir e propor ações resolutivas para o enfrentamento desse grave problema social.

Os educadores mostraram-se preocupados com a problemática e sentem a necessidade de a figura do enfermeiro estar presente em meio à discussão, trazendo orientações e saberes que possam contribuir com a prevenção à violência e com a promoção da saúde de crianças e jovens, assim como com a prática docente, para que este profissional possa auxiliar na detecção da violência aos estudantes. Sabe-se que nem todos os profissionais de saúde estão totalmente

envolvidos com a questão, deixando, por vezes, que outros profissionais tomem para si a responsabilidade de esclarecimentos e ações preventivas desse agravo e promotoras de saúde. Equipes interdisciplinares e interprofissionais devem estar atentas para reconhecer os sinais emitidos pelo indivíduo, a fim de que se tomem as decisões adequadas.

Identifica-se a necessidade de os profissionais de saúde terem contato efetivo com a escola de seu território, com o professor, com o intuito de poder minimizar esses agravos e seus possíveis danos, visto que os professores, muitas vezes, passam mais tempo com seus alunos do que os próprios responsáveis. Por esse motivo, eles são uma peça-chave para detecção do abuso e amparo do aluno nesse momento.

REFERÊNCIAS

- AVILA, J. A. de; OLIVEIRA, A. M. N.; SILVA, P. A. Abuso sexual contra crianças e adolescentes: estudo com enfermeiros da estratégia de saúde da família. *Vitalle*, v. 24, n. 2, p. 43-51, 2012.
- BRASIL. Estatuto da Criança e do Adolescente. *Lei nº 8.069, de 13 de julho de 1990*. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91764/estatuto-da-crianca-e-do-adolescente-lei-8069-90>. Acesso em: 3 jun. 2018.
- BRASIL. *Lei nº 12.845, de 1º de agosto de 2013*. Dispõe sobre o atendimento obrigatório e integral de pessoas em situação de violência sexual. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12845.htm. Acesso em: 11 jun. 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Abuso sexual é o 2º tipo de violência mais comum contra crianças, mostra pesquisa. *Portal oficial do governo federal*, 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/05/abuso-sexual-e-o-segundo-maior-tipo-de-violencia-contra-criancas-mostra-pesquisa>. Acesso em: 23 abr. 2018.
- BRASIL. Mudanças no ECA garantem mais proteção a vítimas de violência. *Portal oficial do governo federal*, 2017. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2017/07/mudancas-no-eca-garantem-mais-protacao-a-vitimas-de-violencia>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Programa Saúde na Escola (PSE)*, 2018. Disponível em: <http://dab.saude.gov.br/portaldab/pse.php>. Acesso em: 12 dez. 2018.
- CATARINO, E. M.; ALMEIDA, M. P. A importância do professor da educação infantil no combate à violência sexual infantil. In: COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 2., 2017, Mineiros/GO. *Anais [...]*, 2017.
- FONTANA, Rosane Teresinha. O processo de educação em saúde para além do hegemônico na prática docente. *Revista Contexto & Educação*, v. 33, n. 106, p. 84-98, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2018.106.84-98>.
- GARBIN, Cléa Adas Saliba *et al.* Conhecimento e percepção dos educadores do ensino infantil sobre violência. *Revista Ciência Plural*, v. 1, n. 2, p. 37-47, 2015.
- GUSTAVO, L.; GALIETA, T. A educação em saúde está contemplada na formação inicial de professores de Ciências Biológicas? *Revista da SBEnBio – Associação Brasileira de Ensino de Biologia*, n. 7, p. 4.877- 4.889, 2014.
- HOHENDORFF, J. V.; PATIAS, N. D. Violência sexual contra crianças e adolescentes: identificação, consequências e indicações de manejo. *Barbarói*, n. 49, p. 239-257, jan./jun. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17058/barbaroi.v0i49.9474>.
- LUSTOSA, Amanda Peres *et al.* Abuso Sexual contra crianças: evidências para o cuidado de enfermagem. *Cadernos ESP - Revista da Escola de Saúde Pública do Ceará*, v. 8, n. 2, p. 50-63, 2014. Disponível em: <http://www.esp.ce.gov.br/cadernosesp/index.php/cadernosesp/article/viewFile/199/96>. Acesso em: 16 nov. 2018.
- MENDONÇA, Renata. Como identificar possíveis sinais de abuso sexual em crianças? *BBC News Brasil*. São Paulo, 25 abr. 2017. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/salasocial-39696399>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- MINAYO, Maria Cecília Souza *et al.* Institucionalização do tema da violência no SUS: avanços e desafios. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 23, n. 6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232018236.04962018>. Acesso em: 6 jan. 2018.

MOLESTAR. In: MICHAELLIS. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?id=qO7L1>. Acesso em: 20 jan. 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Violence Prevention: important element of a health-promoting school. *WHO information series health*, 1998. Disponível em: http://www.who.int/school_youth_health/media/en/93.pdf. Acesso em: 20 abr. 2018.

PORTILHO, Gabriela. A escola pode interromper o ciclo da violência sexual. *Nova Escola*, 1 maio 2011. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1583/a-escola-pode-interromper-o-ciclo-da-violencia-sexual>. Acesso em: 13 abr. 2018.

REVOREDO, Luciana da Silva *et al.* Validação de conteúdo de um instrumento para identificação de violência contra criança. *Acta paul. enferm.*, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 205-217, apr. 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-21002016000200205&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 21 fev. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0194201600029>.

SÁ, Carla Maria Queiroz de *et al.* Atenção da equipe de enfermagem frente à violência sexual contra crianças e adolescentes. *Mostra Interdisciplinar do Curso de Enfermagem*, v. 2, n. 2, 2016. Disponível em: <http://publicacoesacademicas.unicatolicaquixada.edu.br/index.php/mice/article/view/1142/918>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SACRAMENTO, Larissa Cristina Araújo *et al.* Os desafios da prática da Enfermagem no atendimento a crianças e adolescentes vítimas de violência. *International Nursing Congress*, v. 9, n. 12, 2017. Disponível em: <https://eventos.set.edu.br/index.php/cie/article/download/6028/2048>. Acesso em: 21 mar. 2018.

SILVA, L. M. P.; FERRIANI, M.G.C.; SILVA, M. A. I. Atuação da enfermagem frente à violência sexual contra crianças e adolescentes. *Rev. Bras. Enfermagem*, 64(5), 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003471672011000500018. Acesso em: 20 mar. 2018.

SILVA, D.; GIL, D. A.; GAVA, L. L.; DELL'AGLIO, D. D. Sintomas e quadros psicopatológicos em supostas vítimas de abuso sexual: uma visão a partir da psicologia positiva. *Aletheia*, v. 40, p. 58-73, 2013.

SILVA-SOBRINHO, Reinaldo Antônio *et al.* Percepção dos profissionais da educação e saúde sobre o programa saúde na escola. *Revista Pesquisa Qualitativa*, v. 5, n. 7, p. 93-108, 2017.

SILVA, Jeciane Ribeiro. A ação docente na prevenção ao abuso sexual infantil. *Sociologia da Educação*, v. 9, n. 3, p. 973-986, 2018.

SOARES, Elaine Maria Rosa Soares *et al.* Perfil da Violência Sexual contra Crianças e Adolescentes. *Revista Interdisciplinar*, v. 9, n. 1, p. 97-86, 2016.

SOUZA, Lucas Antonio de *et al.* A intervenção da enfermagem na violência sexual. *Revista Saúde*, v. 10, n. 1, 2016. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/saude/article/view/2795>. Acesso em: 29 maio 2018.

SOUSA, M. C. de; ESPERIDIÃO, M. A.; MEDINA, M. G. A intersetorialidade no Programa Saúde na Escola: avaliação do processo político-gereencial e das práticas de trabalho. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 6, p. 1.781-1.790, 2017.

SPAZIANI, R. B.; MAIA, A. C. B. Educação para a sexualidade e prevenção da violência sexual na infância: concepções de professoras. *Revista Psicopedagogia*, v. 2, n. 97, p. 61-71, 2015.

DADOS DOS AUTORES

Rosane Teresinha Fontana (rfontana@san.uri.br). Doutora em Enfermagem. Docente da graduação e do mestrado profissional em Ensino Científico e Tecnológico na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, *campus* Santo Ângelo/RS.

Marina Manzoni Boff. Enfermeira graduada pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, *campus* Santo Ângelo/RS.

Carine Amabile Guimarães. Mestre em Ciências da Saúde. Docente da graduação na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, *campus* Santo Ângelo/RS.

Zaléia Prado de Brum. Mestre em Educação. Docente da graduação na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, *campus* Santo Ângelo/RS.



