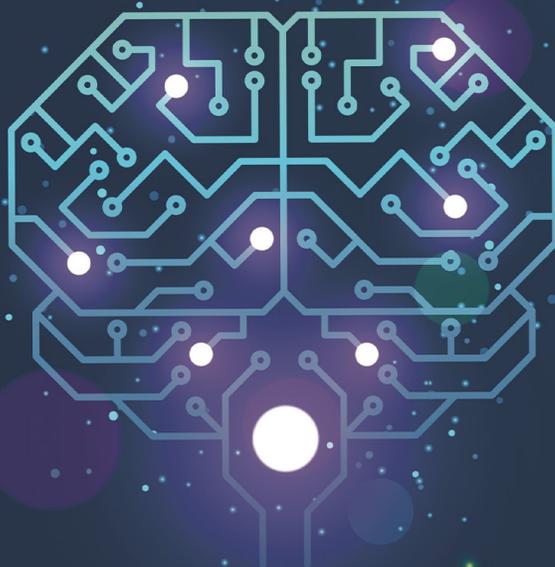


ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade
e inovação tecnológica 5



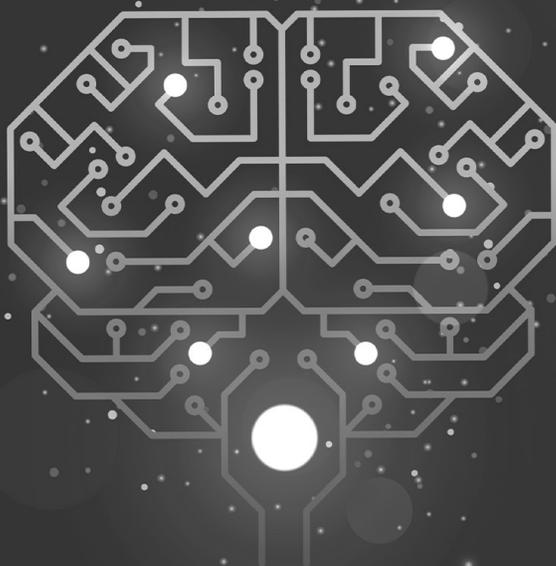
Leonardo França da Silva
Victor Crespo de Oliveira
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2024

ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade
e inovação tecnológica 5



Leonardo França da Silva
Victor Crespo de Oliveira
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2024

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Jeniffer dos Santos
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Leonardo França da Silva
 Víctor Crespo de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica 5 / Organizadores Leonardo França da Silva, Víctor Crespo de Oliveira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2365-2 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.652240503</p> <p>1. Engenharia. 2. Inovação tecnológica. I. Silva, Leonardo França da (Organizador). II. Oliveira, Víctor Crespo de (Organizador). III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

É com grande entusiasmo e dedicação que apresentamos a mais recente edição de «Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica 5». Esta obra representa um esforço colaborativo para explorar e promover o conhecimento e a inovação no campo das engenharias, reunindo especialistas e pesquisadores de diversas áreas afins.

O principal objetivo deste livro é impulsionar a discussão e a disseminação dos avanços científicos e tecnológicos no âmbito das engenharias. Acreditamos firmemente que, ao unir forças e perspectivas multidisciplinares, podemos enfrentar os desafios complexos que se apresentam em nossos tempos. Expressamos nossa profunda gratidão a todos os autores que contribuíram com suas pesquisas e experiências para a criação desta obra significativa.

Reconhecemos a importância da divulgação científica e valorizamos a Atena Editora como uma plataforma essencial para facilitar a disseminação eficaz do conhecimento científico. Estamos empenhados em aumentar a conscientização sobre os avanços nas engenharias, bem como em oferecer soluções inovadoras para um futuro mais próspero e sustentável.

Esperamos que este livro estimule a interconexão entre os diversos ramos das engenharias e contribua para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e resilientes em nossa sociedade. Agradecemos a todos por se juntarem a nós nesta jornada de descobertas e aprendizado.

Boa leitura!

Leonardo França da Silva

Víctor Crespo de Oliveira

CAPÍTULO 1 1

RESTAURACIÓN CON MANGLE PIÑUELO (*PELLICIERA RHIZOPHORAE*) DE ÁREAS ALTERADAS EN EL BOSQUE INUNDABLE DE MANGLAR EN UNA REGIÓN DEL PACIFICO

José A. Berdiales
 Carlos González
 Aracelly Vega

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405031>

CAPÍTULO 2 12

MOBILIDADE ELÉTRICA: AVALIAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL E FUTURO

Bruno Knevitzz Hammerschmitt
 Felipe Cirolini Lucchese
 Marcelo Bruno Capeletti
 Jordan Passinato Sausen
 André Ross Borniatti
 Carlos Henrique Barriquello
 Alzenira da Rosa Abaide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405032>

CAPÍTULO 324

RESÍDUOS SÓLIDOS E A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO AMBIENTAL EM POSTOS DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS

Jéssica Juliana Braz Bicalho
 Leonardo França da Silva
 Victor Crespo de Oliveira
 Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405033>

CAPÍTULO 445

APLICATIVO EM REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DE DESENHO TÉCNICO NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

Thiago Moreira Beck
 Aline Couto da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405034>

CAPÍTULO 565

ESTUDIO TERMOGRAVIMETRICO DE LA GENERACIÓN DE CALOR A PARTIR DEL COPROCESAMIENTO DE CARBON Y BIOMASA

Mario Jozef Cutimbo Quispe
 José Luis Pineda Tapia
 Yazmin Yaneth Agamez-Pertuz
 Eduard Ricardo Romero Malagón
 R. Alfredo Palomino Infante
 Roxana Tacuri Robles
 Godofredo Huanca Chambi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405035>

CAPÍTULO 678**O ENSINO *ONLINE* E AS CARACTERÍSTICAS DE UMA CIDADE INTELIGENTE**

Cristina Dias

Carla Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405036>**CAPÍTULO 786****DETERMINACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE CAL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL**

Godofredo Huanca Chambi

José Luis Pineda Tapia

Milton Quispe Tisnado

Diego Wilman de la Cruz Paredes

Lisbeth Carina Coaquira Huacani

Mario Jozef Cutimbo Quispe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405037>**CAPÍTULO 8113****TECNOLOGIAS DE RESFRIAMENTO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL**

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Márcia Cristina de Oliveira

Daiane Busanello

Darlo Torno

Sandro Adriano Zandoná

Natalia Tinti

Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405038>**CAPÍTULO 9121****AUTOMAÇÃO DE TORRES DE ARREFECIMENTO COM O USO DE SET POINT FLUTUANTE COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Alexandre Fernandes Santos

Darlo Torno

Daiane Busanello

Fabio Francisco Ferreira

Heraldo José Lopes de Souza

Natalia Tinti

Márcia Cristina de Oliveira

Sandro Adriano Zandoná

Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6522405039>

CAPÍTULO 10.....	131
A IMPORTÂNCIA DA RENOVAÇÃO DO AR EM AMBIENTES INTERNOS: ABORDANDO SAÚDE, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE	
Alexandre Fernandes Santos	
Darlo Torno	
Daiane Busanello	
Fabio Francisco Ferreira	
Heraldo José Lopes de Souza	
Natalia Tinti	
Márcia Cristina de Oliveira	
Sandro Adriano Zandoná	
Eliandro Barbosa de Aguiar	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.65224050310	
CAPÍTULO 11	148
CONFIABILIDADE VS TEMPO MÉDIO PARA FALHAR	
Alexandre Fernandes Santos	
Heraldo José Lopes de Souza	
Marcia Cristina de Oliveira	
Sariah Torno	
Darlo Torno	
Sandro Adriano Zandoná	
Natalia Tinti Ramos	
Eliandro Barbosa de Aguiar	
Daiane Busanello	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.65224050311	
CAPÍTULO 12.....	156
A IMPORTÂNCIA DA CONSCIENTIZAÇÃO DOS FLUÍDOS REFRIGERANTES NA REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO E SEU MANUSEIO	
Alexandre Fernandes Santos	
Darlo Torno	
Daiane Busanello	
Heraldo José Lopes de Souza	
Natalia Tinti	
Márcia Cristina de Oliveira	
Sandro Adriano Zandoná	
Eliandro Barbosa de Aguiar	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.65224050312	
SOBRE OS ORGANIZADORES	162
ÍNDICE REMISSIVO	163

RESTAURACIÓN CON MANGLE PIÑUELO (*PELLICIERA RHIZOPHORAE*) DE ÁREAS ALTERADAS EN EL BOSQUE INUNDABLE DE MANGLAR EN UNA REGIÓN DEL PACIFICO

Data de aceite: 01/03/2024

José A. Berdiales

Tecno Manglares Forest, Panamá,
Panamá

Carlos González

Universidad Autónoma de Chiriquí,
Panamá

Aracelly Vega

Universidad Autónoma de Chiriquí, Centro
de Investigación en Recursos Naturales,
Panamá

RESUMEN: En la vertiente del pacífico panameño se encuentran alrededor de unas 170 000 hectáreas de bosque de manglar de las cuales los manglares ocupan el 25 % de la superficie existente. El trabajo tuvo como finalidad la rehabilitación de 33 hectáreas en el bosque inundable, en él se determinó la ubicación del polígono georreferenciado para el diseño de un mapa cartográfico. Esta restauración se realizó con la especie *Pelliciera rhizophorae* producida en vivero. El sitio seleccionado para la restauración estuvo invadido por el helecho *Acrostichum aureum* el cual fue cortado con machete previamente y luego se procedió a la restauración con 20 592 plantones en el

periodo de junio del 2013. El año siguiente se establecieron 18 parcelas de monitoreo distribuidas al azar dentro del polígono de las 33 hectáreas. A partir del 2014 y hasta el 2017, se midieron 900 arbolitos de *Pelliciera*. La altura promedio que alcanzaron los árboles fue de 205,1 cm promedio y hubo un 1,7 % de mortalidad. El *Acrostichum* fue controlado a medida que iban creciendo los plantones de mangle piñuelo durante 4 años y los resultados durante los cinco años es que se pudo estabilizar el equilibrio ecológico del ecosistema de manglar.

PALABRAS-CLAVE: Restauración, bosque inundable, *Pelliciera rhizophorae*, manglares, *Acrostichum aureum*.

RESTORATION WITH PIÑUELO MANGROVE (*PELLICIERA RHIZOPHORAE*) OF ALTERED AREAS IN THE FLOODED MANGROVE FOREST IN A PACIFIC REGION

ABSTRACT: On the Panamanian Pacific slope there are around 170 000 hectares of mangrove forest, of which mangroves occupy 25 % of the existing surface. The purpose of the work was the rehabilitation of 33 hectares in the floodable mangrove

forest in which the location of the polygon was determined, which was geo-referenced for the design of a cartographic map. This restoration was carried out with the *Pelliciera rhizophorae* species produced in the nursery. The site selected for the restoration was invaded by the fern *Acrostichum aureum* which was previously cut with a machete and then proceeded to the restoration with 20 592 seedlings in the period of June 2013. The following year, 18 randomly distributed monitoring plots were established within the 33-hectare polygon. From 2014 to 2017 900 *Pelliciera* trees were measured. The average height reached by the trees was 205,1 cm and there was 1,7% mortality. The *Acrostichum* was controlled as the piñuelo mangrove seedlings grew for 4 years and the results during the five years is that the ecological balance of the mangrove ecosystem could be stabilized.

KEYWORDS: restoration, floodplain forest, *Pelliciera rhizophorae*, mangrove, *Acrostichum aureum*.

INTRODUCCION

Los manglares se localizan al sur de la ciudad de David, en la desembocadura del río Chiriquí; ocupan 1,6 % de esta cuenca. Entre los beneficios que ofrece este ecosistema está la protección de la costa contra la erosión provocada por el oleaje y el viento, la moderación de los efectos producidos por tormentas costeras y ciclones, constituyendo, además, el refugio y hábitat para una amplia diversidad de vida silvestre, especialmente avifauna. En Panamá se cuenta con dos de las diecinueve especies de Rhizophorae; dos de las ocho de Avicenniaceae, dos de las cinco Combretaceae; y la única Pellicieraceae en el continente. Esta última se encuentra tanto en el Atlántico como en el Pacífico panameño. De igual forma se encuentra el *Acrostichum aureum* de la familia Pteridaceae.

El problema de la población de mangle piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*) en el estero Pedregal, sobre una superficie de 1 800 hectáreas, puede atribuirse, especialmente, al aumento de la población, la ganadería y la agricultura extensiva en detrimento del bosque de manglar. El objetivo de esta investigación fue determinar el crecimiento del mangle piñuelo en una zona donde una especie de helecho se ha convertido en una amenaza en su hábitat. La participación comunitaria jugó un rol muy importante en la integración de miembros de la comunidad de Pedregal, en la ejecución de la restauración de unas 33 hectáreas de manglar.

Pelliciera rhizophorae (mangle piñuelo) es una especie que tiene una distribución limitada y desigual, en Nicaragua (Bluefields), Panamá (Bocas del Toro, Bahía las Minas) y Colombia (bahías de Cartagena y Barbacoa). También hay algunos parches pequeños de esta especie en las costas del Pacífico de Colombia, Costa Rica, Panamá y Ecuador (Fuchs, 1970; Jiménez, 1984) y el suroeste de Nicaragua. El área de ocupación de esta especie se estima entre 500 km² y 2 000 km²; es una especie nativa de Colombia, Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, Panamá. La biología de la población de esta especie no ha sido estudiada con gran detalle. Las poblaciones son generalmente pequeñas y están restringidas a una banda

estrecha de salinidad. Es un árbol pequeño (5-10 m) que crece en sustratos fangosos con cantidades variables de arena y turba de manglar, ocasionalmente con fragmentos de coral. Su presencia está vinculada a un suministro de agua dulce. Es un componente menor de las áreas no perturbadas, pero se convierte en una densa población en las áreas donde se eliminaron los árboles si se dispone de agua dulce (Caldern-Saenz, 1984). *Pelliciera* puede ser más sensible a las altas salinidades del suelo que otros manglares neotropicales. Crece mejor en suelos húmedos, inundados superficialmente en mareas altas y en suelos firmes, arenosos y ligeramente elevados que se encuentran en las áreas de intercambio. Esta especie no se encuentra en las salinidades del suelo superiores a 37 ppt (Winograd, 1983; Jiménez, 1984). Esta especie tiene una distribución restringida, probablemente reducida. En un estudio realizado a principios de la década de 1990 en Nicaragua, solo unos pocos individuos de *P. rhizophorae* se registraron en Bluefields. Los informes incluyeron diez plántulas y un árbol joven en 0,15 ha, pero no adultos en esta localidad (Roth and Grijalva, 2016).

En Colombia, *P. rhizophorae* se encuentra en la bahía de Cartagena en el lado sur cerca del río y en la bahía de Barbacoas (Caldern-Saenz, 1984). En Panamá, *P. rhizophorae* se encuentra en Bahía Las Minas, donde ocurre como individuos aislados dentro de un manto de aproximadamente 1 200 hectáreas (Duke, Pinzón M. and Prada T, 1997). En la costa del Pacífico de Costa Rica, esta especie se encuentra en Tamarindo y Puntarenas, dentro de una distribución estimada de dos hectáreas (Ellison, Farnsworth and Moore, 2010).

Pelliciera fue incluido como Vulnerable en la Lista Roja de Plantas Amenazadas de la UICN de 1997, pero no fue evaluado para su inclusión en la Lista Roja de árboles amenazados de la UICN de 1998.

El *Acrostichum aureum* es una especie oportunista que se desarrolla después de la tala de árboles, se adapta en suelos salobres y puede alcanzar una altura de hasta 2 m. En muchas partes del mundo ha sido considerada una plaga vegetal que interfiere con el crecimiento y regeneración de los árboles de mangle (Medina *et al.*, 2014).

Esta experiencia es la primera que se realiza en Panamá con la especie *Pelliciera rhizophorae* en la recuperación de ecosistemas afectados por actividades antrópicas.

MATERIALES Y METODOS

El proyecto se realizó en los manglares de Pedregal, provincia de Chiriquí, situados en la llanura litoral del Pacífico, a unos 24,4 m sobre el nivel del mar. Las costas, en general, son bajas, pantanosas y cubiertas por manglares. Su principal accidente costero es el amplio golfo de Chiriquí, de aguas profundas, que se extiende desde Punta Burica hasta Las Palmas, en Veraguas, abarcando toda la costa de la provincia chiricana (Trejos *et al.*, 2007).

El clima donde se ubica el proyecto mantiene una temperatura media anual registrada de 26 °C y la estación lluviosa se caracteriza por una precipitación entre 2 000 y 3 400 milímetros de lluvia por año. Cuenta también con una estación seca definida. Entre las especies de mangle encontradas están: mangle piñuelo (*Pelluciera rhizophorae*), alcornoque (*Mora oleífera*) y sangrillo (*Pterocarpus officinalis Jacq*). También se encuentran otras especies como la negra jorra (*Acrostichum aureum*), lirio de manglar (*Crinum sp.*) y mangle marica (*Tabebuia palustris*) que crecen y se desarrollan en asociados en las desembocaduras de los ríos, especialmente en bosque de ciénaga.

MORFOLOGÍA DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR

El sitio seleccionado para la restauración de las 33 hectáreas siguió los parámetros de morfología del lugar, como la topografía, hidrología, ecología, similar unidad de hábitat del manglar y propiedades del suelo, como la concentración de salinidad edáfica y el estado de las mareas (Twilley and Rivera-Monroy, 2014) (figura 1).

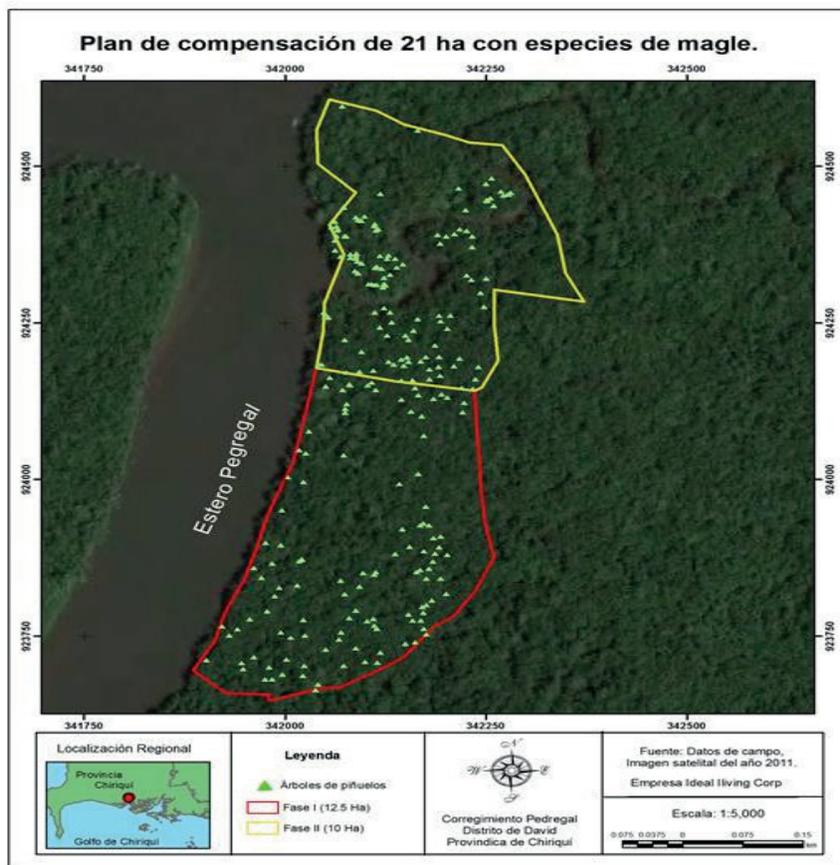


Fig. 1 Localización y vista área del bosque inundable. Árboles adultos de mangle piñuelo representados en color verde caña

METODOLOGÍA

La restauración se realizó cerca del estero Pedregal en un polígono de 33 hectáreas, ubicadas en el bosque inundable que tiene unas 1 800 hectáreas (Tovar, 2008).

Las actividades realizadas para recuperar la población de mangle piñuelo en el estero Pedregal fueron las siguientes:

Se geo referenció la zona con la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida bajo un sistema de coordenadas y datum específicos. Es una operación habitual dentro de un sistema de información geográfica (SIG). A través de esta herramienta se levantaron las coordenadas con un GPS marca Garmin, serie eTrex 20 y un error de 3 m aceptables. Las coordenadas fueron tomadas en el sistema WGS84, Canal Zone 17, coordenadas UTM. Una vez georreferenciado el sitio se procede a analizar la información, se descargan las coordenadas y se ubica una imagen satelital para identificar otros sitios no vistos en campo, es allí cuando se inició el procesamiento y depuración de datos. Toda la periferia del polígono fue señalizada cada 100 metros con cintas plásticas adhesivas.

Reforestación. Actividades realizadas

Se confeccionó un vivero de mangle, para el que se seleccionó un área cerca de un estero, con condiciones del terreno planas, con el propósito de permitir la entrada y salida del agua a través de la subida de las mareas. Esta área se ubica en la comunidad de Pedregal, distrito de David.

La recolección de las semillas se hizo a lo largo de una semana, en forma manual. En total se recolectaron 20 625 semillas maduras de mangle piñuelo durante la marea baja. Estas fueron colocadas en tanques plásticos de 5 galones, y posteriormente fueron trasladadas en bote al vivero.

En el vivero se colocaron, en el suelo o en el fango del manglar, varas de dos metros de ancho por siete metros de largo, denominando a esta estructura camas germinativas las cuales se colocaron a una profundidad de 5 cm. Se construyeron, en total, doce camas germinativas dejando un metro de separación entre camas. Estas camas fueron, posteriormente, rellenas con fango como sustrato para el crecimiento del mangle piñuelo. Este fango fue transportado en bote desde el área donde había un desarrollo de árboles de mangle piñuelo hasta el vivero. Una vez rellenas las camas germinativas con fango se procedió a la siembra de las 20 625 semillas. Las semillas se mojaban con las mareas altas propiciando las condiciones ambientales naturales para su crecimiento. En un periodo de 35 días desarrollaron 4 hojas y su sistema radicular.

La limpieza del sustrato con presencia del helecho *Acrostichum aureum* se ejecutó con machete, cortando una hectárea por día. Las hojas del helecho, una vez cortadas,

se dejaron en el suelo para que su descomposición sirviera como materia orgánica. Los arbolitos producto de la regeneración natural, rezagados en su crecimiento, fueron mantenidos en el área para que pudieran crecer sin la competencia del helecho. Durante el primer año y hasta el cuarto año se realizaron 4 limpiezas, cada cuatro meses, y durante el quinto año, solo dos limpiezas semestrales.

En el polígono seleccionado de las 33 hectáreas en el bosque inundable de manglar se realizó, en el 2013, la siembra en tres fases:

- I. fase: del 30 julio al 7 de agosto 2013 se sembraron 7 500 plántones para reforestar 12 ha;
- II. fase: del 7 al 12 de noviembre se reforestaron 6 875 plántones en 11 hectáreas;
- III. fase: del 12 al 17 de diciembre se sembraron 6 250 plántones en 10 hectáreas.

La reforestación se realizó sembrando 625 plántones de *Pelliciera* en cada hectárea. La siembra de los plántones se realizó en forma dispersa. Esta técnica de siembra se aplicó para no crear competencias de espacio, luz, nutrientes y agua con la regeneración natural de las otras especies existentes de árboles y arbustos en el ecosistema.

En el 2014 se establecieron 18 parcelas distribuidas al azar en todo el polígono de las 33 hectáreas que permitieron evaluar el crecimiento de los plántones. Para cada parcela se georreferenciaron sus coordenadas con un GPS; después, se ubicó su posición geográfica dentro del mapa del polígono de las 33 hectáreas. En cada parcela se seleccionaron 50 arbolitos de *mangle piñuelo* a los cuales se les practicaron mediciones de altura, formación de número de ramas principales, estimándose la mortalidad. Se realizaron seis mediciones, dos por año, una durante la estación lluviosa y otra durante la estación seca, desde el 2014 hasta el 2017.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La proliferación del *Acrostichum aureum*, debido a la deforestación, ha sido uno de los factores que impide el crecimiento de todas las especies de árboles que habitan los ecosistemas de manglar a través de la regeneración natural. Este helecho oportunista, que se desarrolla después de la tala del manglar, crece bien en suelos salobres; desarrolla rizomas, y, en su base, varias hojas hasta alcanzar cuatro metros de largo. La densidad de una planta a otra es casi de unos 0,50 centímetros y la cobertura del bosque de 1 800 hectáreas tiene un 70 % invadida por este helecho.

Alturas promedio de los árboles de *Pelliciera rhizophorae*

Las mediciones realizadas en 900 árboles de dieciocho parcelas, de un total de 20 625 plantones, representaron el 4,36 % de los árboles reforestados. Se realizaron seis mediciones desde 2014 al 2017. En la figura 1 se presenta la altura promedio en las dieciocho parcelas durante las seis mediciones y otros datos resultantes durante estas mediciones.

A través del cálculo de la desviación estándar se pudo verificar la dispersión de la altura de los árboles. Desde la primera medición hasta la tercera se puede observar una desviación en las mayores alturas de 0,60 cm a 0,90 cm; en los árboles de menor altura, los resultados van desde 0,40 cm hasta 0,50 cm durante los primeros 602 días. En la cuarta medición, los árboles de *Pelliciera* alcanzaron alturas promedio de 114,3 cm. Algunos árboles lograron alcanzar alturas mayores, de hasta 140 cm, transcurridos unos 806 días. En la quinta medición, los árboles de *Pelliciera* siguieron mostrando un mayor crecimiento hasta alcanzar una altura promedio de 135,8 cm, durante unos 996 días transcurridos. En esta medición se pudo observar alturas mayores, hasta 150 cm. El mayor incremento en altura (205,1 cm) se observó en la sexta medición.

Los árboles de mayor altura llegaron a medir 245,5 cm, y los de menor rango de altura, alrededor de 190,0 cm.

Desde la primera medición hasta la sexta se pudo apreciar que los arbolitos de *Pelliciera* crecieron de forma lineal en el tiempo. Esto corrobora que el área de bosque inundable o zona estuarina es apropiada para su desarrollo.

La figura 2 presenta los datos de la media y la desviación típica de las medidas de longitud de las alturas según los distintos muestreos, y la línea de tendencia de la curva, como una función polinomial de orden 6 (con un R2 de 1).

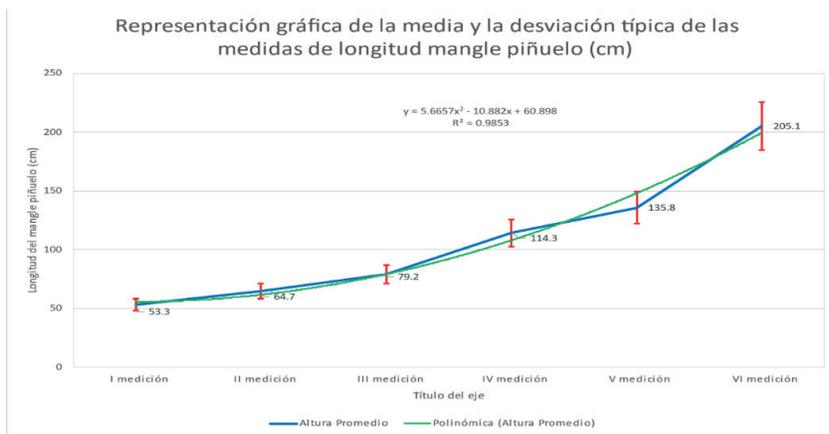


Fig. 2 Representación gráfica de la medida y la desviación de longitud del mangle piñuelo (cm)

La figura 3 permite observar los valores de árboles muertos por grupo de parcelas. Cada valor en un grupo de parcelas es una columna apilada de acuerdo con cada etapa de medición. El mayor número de árboles de mangle muertos se dio en las parcelas 3, 4 y 11.

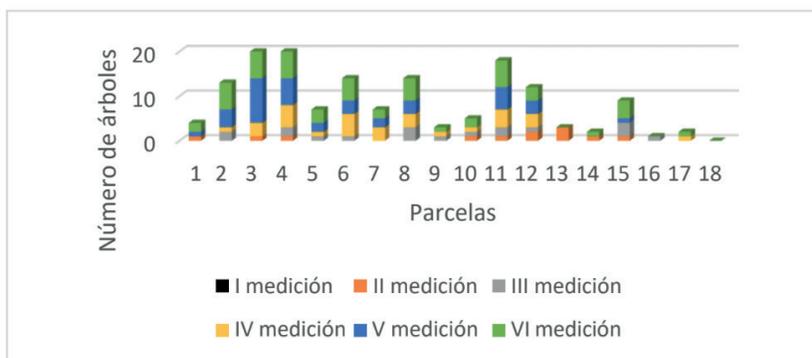


Fig. 3 Número de árboles de mangle muerto por etapa de medición

El porcentaje de la variación de la altura promedio de los árboles con respecto a la variación del número de ramas está representado en la figura 4. La correlación es positiva y muy fuerte entre las dos variables en estudio, con un R² de 92 %. De igual forma, la dispersión más fuerte se puede observar con un máximo de quince ramas y una altura de alrededor de 200 cm.

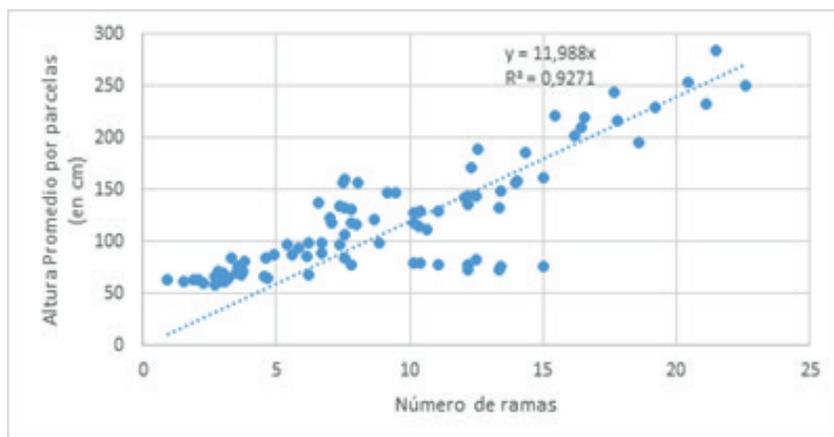


Fig. 4 Correlación entre la altura promedio de árboles por parcelas vs número de ramas.

Se obtuvieron alturas promedio de las seis mediciones finales en las dieciocho parcelas. Las plantas crecieron 11,33 cm en 195 días, de la primera a la segunda medición; de la segunda a la tercera medición, las plantas crecieron un promedio de altura de 14,58

cm en 160 días. De la tercera a la cuarta medición, las plantas crecieron, en promedio de altura, 35,07 cm en 204 días, mientras que, de la cuarta a la quinta medición, las plantas crecieron, en promedio de altura, 21,52 cm en 190 días. Finalmente, de la quinta a la sexta medición, las plantas crecieron, en promedio de altura, 69,23 cm en 475 días (figura 5).

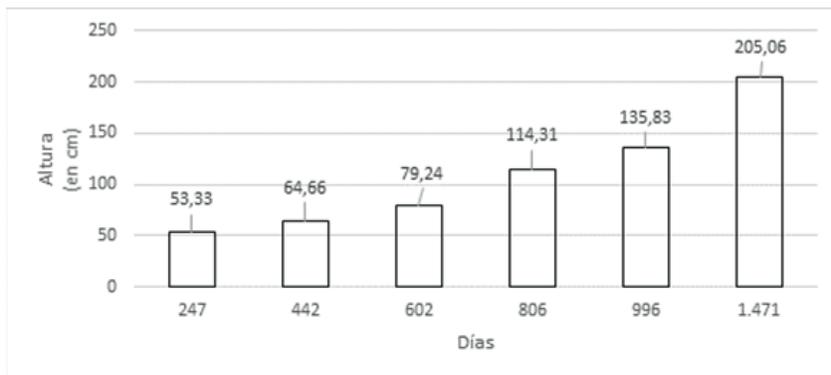


Fig. 5 Altura promedio de dieciocho parcelas de árboles de mangle

La formación de ramas principales fue otra medición registrada durante el crecimiento del mangle piñuelo. En la segunda medición, realizada en 442 días, se obtuvo un promedio de 2,92 ramas principales, y durante la tercera medición, en 602 días, se obtuvo un promedio de 9 ramas. En la cuarta medición, a los 806 días, se obtuvo un promedio de 7,27 ramas, mientras que, en la quinta medición, a los 996 días, se obtuvo un promedio de 11,02 ramas. Finalmente, en la sexta medición, transcurridos 1 471 días, el promedio de ramas fue de 15,08. Se pudo observar que el crecimiento fue proporcional a la formación de ramas a través del tiempo (figura 6).

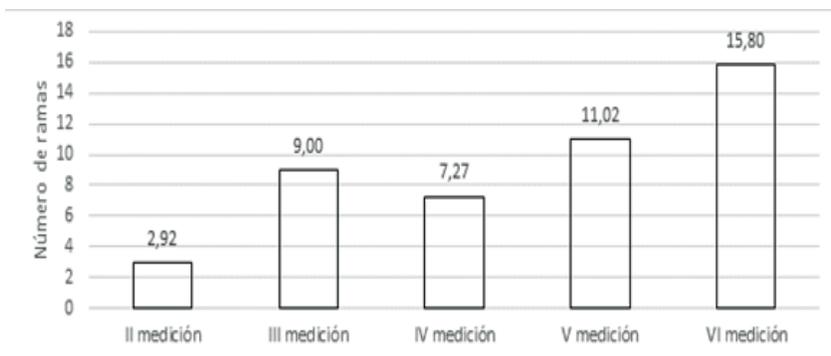


Fig. 6 Número de ramas de árboles de mangle por período de medición

CONCLUSIONES

Las condiciones naturales para producir los plantones en el vivero fue una técnica apropiada para obtener buenos resultados de sobrevivencia en el polígono de las 33 hectáreas. El uso del sustrato o lodo procedente del área en donde crecen los rodales de piñuelo y el agua salobre procedente de un estero, donde la hidrología del agua era similar sobre la base de las fluctuaciones de las mareas contribuyeron a la sobrevivencia de los plantones. En el vivero no hubo mortalidad y las plantas salieron con 4 a 6 hojas de su sistema radicular.

El control, a través de la corta del helecho, jugó un papel importante debido a que se le dio mayor entrada de luz a las otras especies, producto de la regeneración natural, para su crecimiento y desarrollo. Este control se mantuvo durante los cinco años del proyecto y se pudo observar que, durante el tercer año, el helecho fue perdiendo fuerza en el desarrollo de sus hojas y en su crecimiento.

Esta restauración se realizó en el hábitat donde crece el mangle piñuelo con condiciones ambientales y de salinidad semejantes. Solo se controló la especie invasora (helecho), y se utilizó el método de siembra dispersa al azar. Un total de 625 plantones fueron sembrados por hectárea, brindándole espacio a los árboles padres para que durante la diseminación de sus semillas estas no encontrarán competencia con los plantones reforestados. Se obtuvo una altura promedio de 205,06 centímetros y la formación de 15 ramas promedio durante los cuatro años de medición.

El éxito o fracaso de esta restauración está relacionada positivamente con el interés de las comunidades en apropiarse del proyecto y participar a lo largo del tiempo que dure éste.

AGRADECIMIENTO

De manera destacada mi aprecio y reconocimiento a los señores Víctor Díaz (Yako) y Manuel Díaz, pescadores y vecinos de la comunidad de Pedregal, quienes participaron de todas las actividades de reforestación y se involucraron en cada una de las mediciones de las parcelas del bosque de manglar en Pedregal, Chiriquí. A la Licenciada Yaniza Axpria (bióloga de la empresa Santa María), a la MSc. Yolani Robles por la revisión del documento. Al Dr. Carlos González quien realizó el análisis estadístico de los datos y la confección de los gráficos.

REFERENCIAS

Caldern-Saenz, E. (1984) 'Occurrence of the mangrove, *Pelliciera Rhizophorae*, on the caribbean coast of Colombia with biogeographical notes.', 35(1), pp. 105–110. Available at: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1984/00000035/00000001/art00012?crawler=true>.

Duke, N. C., Pinzón M., Z. S. and Prada T, M. C. (1997) 'Large-scale damage to mangrove forests following two large oil spills in Panama', *Biotropica*, 29(1), pp. 2–14. doi: 10.1111/j.1744-7429.1997.tb00001.x. Ellison, A., Farnsworth, E. and Moore, G. (2010) '*Pelliciera rhizophorae*', *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, 8235.

Fuchs, H. P. (1970) 'Ecological and Palynological Notes on *Pelliciera Rhizophorae*', *Acta Botanica Neerlandica*, 19(6), pp. 884–894. doi: 10.1111/j.1438-8677.1970.tb00192.x.

Jimenez, J. A. (1984) 'A Hypothesis to Explain the Reduced Distribution of the Mangrove *Pelliciera rhizophorae* Tr. & Pl.', *Biotropica*, 16(4), p. 304. doi: 10.2307/2387939.

Medina, E. *et al.* (2014) 'Soil Salinity , Sun Exposure , and Growth of *Acrostichum aureum* , the Mangrove Fern Author (s): Ernesto Medina, Elvira Cuevas , Marianne Popp and Ariel E . Lugo Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2995279> . Rhizophora mu-', 151(1), pp. 41–49. Available at: <https://www.jstor.org/stable/2995279>.

Roth, L. and Grijalva, A. (2016) 'NEW RECORD OF THE MANGROVE PELLICIERA RHIZOPHORAE (THEACEAE) ON THE CARIBBEAN COAST OF NICARAGUA Author (s): Linda C .

Roth and Alfredo Grijalva Published by : New England Botanical Club, Inc . Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/23312792> REFERE', 93(874), pp. 183–186. Available at: <https://www.jstor.org/stable/23312792>.

Tovar, D. (2008) 'Propuesta Para El Establecimiento De La Nueva Area Protegida De Los Manglares Del Golfo De Chiriquí (Distritos De Alanje , David Y San Lorenzo)', p. 168.

Trejos, C. *et al.* (2007) 'Manejo y su Relación con la Pesquería en Panamá : Análisis de la relación existente entre las poblaciones de fauna marina de importancia económica con las del bosque de manglar , en la República de Panamá .', *CATHALAC (Centro del agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe)*, p. 84. Available at: [https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/7986/Analisis de la relacion existente entre las pesquerias y los manglares- panama.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/7986/Analisis%20de%20la%20relacion%20existente%20entre%20las%20pesquerias%20y%20los%20manglares-panama.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Twilley, R. and Rivera-Monroy, V. (2014) 'Developing Performance Measures of Mangrove Wetlands Using Simulation Models of Hydrology , Nutrient Biogeochemistry , and Community Dynamics Author (s): Robert R . Twilley and Victor H . Rivera-Monroy Source : Journal of Coastal Research , , SPECIAL IS', (40). Available at: <https://www.jstor.org/stable/25736617>.

Winograd, M. (1983) 'Observaciones Sobre el Hallazgo de *Pelliciera rhizophorae* (Theaceae) en el Caribe Colombiano', *Biotropica*, 15(4), p. 297. doi: 10.2307/2387657.

MOBILIDADE ELÉTRICA: AVALIAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL E FUTURO

Data de submissão: 24/01/2024

Data de aceite: 01/03/2024

Bruno Knevit Hammerschmitt

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4865207592578956>

Felipe Cirolini Lucchese

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8546392131996035>

Marcelo Bruno Capeletti

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1922799731958383>

Jordan Passinato Sausen

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8776511917988173>

André Ross Borniatti

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1414695090460054>

Carlos Henrique Barriuello

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4127396473202565>

Alzenira da Rosa Abaide

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2427825596072142>

RESUMO: A transição energética por energias sustentáveis, visando a redução das emissões de carbono, é um objetivo global. A substituição dos combustíveis fósseis por energias renováveis é uma iniciativa crucial e necessária. Neste sentido, a mobilidade elétrica é considerada essencial para o desenvolvimento sustentável e a descarbonização da matriz energética global. No entanto, a disseminação massiva de veículos elétricos enfrenta desafios significativos, como a limitada capacidade das baterias e os longos tempos de recarga. Investimentos em pesquisa, inovação e infraestrutura são

fundamentais para superar essas barreiras. Diante disto, este estudo explora as perspectivas brasileiras sobre a mobilidade elétrica, abordando a evolução no país e as tendências globais, destacando a necessidade de planejamento conjunto nos setores de energia e transporte para alcançar os objetivos de descarbonização e do desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilidade elétrica; veículos elétricos; estação de recarga; desenvolvimento sustentável; descarbonização.

ELECTRIC MOBILITY: ASSESSMENT OF THE CURRENT AND FUTURE SCENARIO

ABSTRACT: The energy transition towards sustainable energy, aiming to reduce carbon emissions, is a global objective. Replacing fossil fuels with renewable energy is a crucial and necessary initiative. In this sense, electric mobility is considered essential for sustainable development and the decarbonization of the global energy matrix. However, the mass dissemination of electric vehicles faces significant challenges, such as limited battery capacity and long recharging times. Investments in research, innovation, and infrastructure are fundamentals to overcome these barriers. Given this, this study explores Brazilian perspectives on electric mobility, addressing developments in the country and global trends and highlighting the need for joint planning in the energy and transport sectors to achieve the objectives of decarbonization and sustainable development.

KEYWORDS: Electric mobility; electric vehicles; charging station; sustainable development; decarbonization.

INTRODUÇÃO

Os esforços para mitigar as emissões de carbono são vistas no mundo todo como um objetivo comum por todas as nações. Neste sentido, uma das frentes para alcançar este objetivo transcorre pela transição energética nos sistemas de energia, com a substituição do uso dos combustíveis fósseis pelas energias renováveis. Neste panorama, a substituição da frota de veículos a combustão, originalmente movidos a combustíveis fósseis, por Veículos Elétricos (VEs), é uma das iniciativas de maior impacto na sociedade e no planejamento e operação dos sistemas de energia.

A mobilidade elétrica é vista como um dos passos para o desenvolvimento sustentável e descarbonização da matriz energética mundial. Os esforços a nível nacional e mundial andam lado a lado com foco na mitigação no consumo dos combustíveis fósseis e maior proveito dos recursos energéticos renováveis. Assim, uma das formas de ampliar essa condição é a massiva inserção de VEs, com investimentos significativos em projetos de pesquisa e inovação, assim como na ampliação da infraestrutura para atender a carga dos VEs.

Contudo, um dos grandes gargalos para a disseminação em larga escala dos VEs no Brasil e no mundo, está atrelada a pouca capacidade das baterias dos VEs e os longos tempos de recarga. Estes fatores no presente momento dificultam a aquisição dos

VEs, somado a pouca infraestrutura de recarga disponível. Embora esta seja uma das preocupações e dos esforços por parte das grandes nações mundiais, ainda são precárias em países em desenvolvimento, como no caso do Brasil.

Diante disso, a transição energética com vista no uso sustentável dos recursos energéticos renováveis tem como um de seus alicerces a mobilidade elétrica, com a substituição da frota atual por VEs, e que demandam estudos de planejamento dos setores de energia e transporte. Neste sentido, este estudo tem como objetivo elucidar as principais perspectivas do Brasil sobre a mobilidade elétrica, trazendo informações acerca da evolução da mobilidade elétrica no país, e as principais tendências no mundo para os próximos anos.

MOBILIDADE ELÉTRICA NO BRASIL

A mobilidade elétrica no Brasil vem crescendo em ritmo acelerado durante os últimos anos. Impulsionado pela transição energética, pelos incentivos ao mercado automobilístico, e pelo aumento da disponibilidade de infraestrutura, como as estações de recarga (porém ainda deficiente), são fatores que proporcionam a disseminação em larga escala dos VEs. Para expressar a evolução gradual do VEs no Brasil, é apresentado a Figura 1, que representa o total de VEs leves comercializados/emplacados no Brasil.

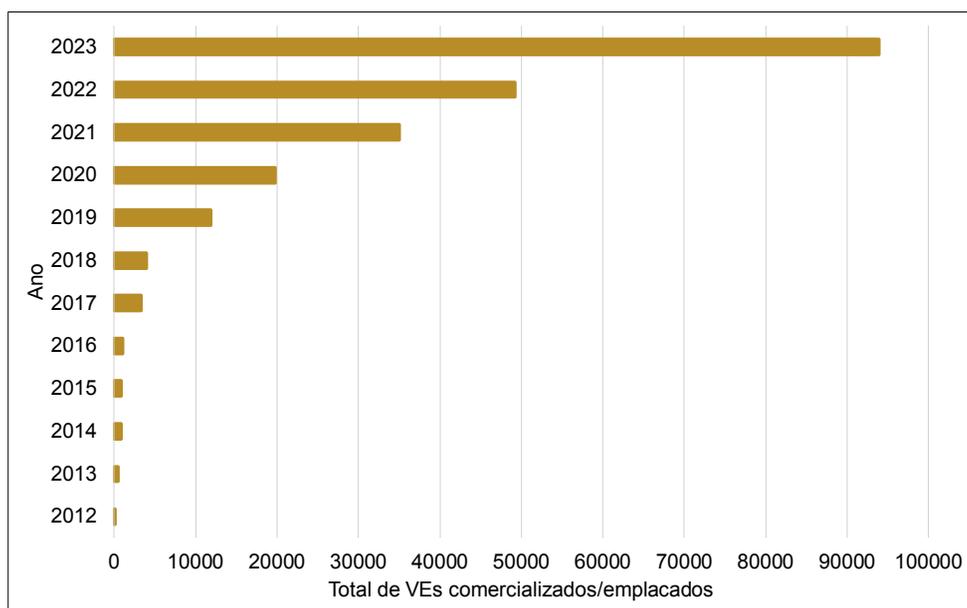


Figura 1 - Evolução da comercialização/emplacamento de VEs leves no Brasil.

Fonte: Adaptado de (ABVE, 2024).

Conforme observado na Figura 1, a partir do ano de 2019 houve um crescimento no número de emplacamentos de VEs, onde neste mesmo ano ultrapassou a marca de mais de 10 mil VEs. Essa evolução é vista durante os anos seguintes, tendo no ano de 2023 um total de 93.927 VEs emplacados, totalizando um acumulado de 220.431 VEs no Brasil.

Com isso, há de se destacar que nos últimos anos houve um aumento na comercialização de VEs do tipo *plug-in*, onde tem-se os veículos do tipo PHEV e BEV, sendo o primeiro um VE híbrido, isto é, movido a combustão e a energia elétrica recarregável em tomada de carga, e o BEV, sendo este totalmente elétrico. As expectativas para o ano de 2024 é de que os veículos do tipo *plug-in* compreendam 2/3 dos VEs comercializados e emplacados no Brasil, contra 1/3 dos veículos do tipo HEV, também um VE híbrido, porém, com uma bateria recarregada apenas pela frenagem (ABVE, 2024).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a qual tem o papel subsidiar o planejamento do setor energético nacional, trazendo as projeções indicativas no âmbito do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), a frota de VEs leves deve ultrapassar a marca de 1 milhão de unidades em 2030 (EPE, 2023b). No entanto, alguns obstáculos são evidenciados para a adoção maciça dos VEs, sendo eles: os altos preços dos VEs, a ausência indústrias nacionais para abastecer o mercado de baterias e componentes, e a pouca expressividade de estações de recarga. Diante disto, segundo a EPE, devido à grande disponibilidade de combustíveis renováveis, há uma tendência para o aumento dos VEs híbridos tipo PHEV ao invés dos veículos 100% elétricos.

Os passos para o desenvolvimento sustentável da mobilidade elétrica no Brasil passam pelo programa Rota 2030, o qual tem como propósito incentivar os projetos de P&D em todos os âmbitos do setor. As diretrizes deste programa são definidas por (FI GROUP, 2024b):

- Estabelecer requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil;
- Incrementar a eficiência energética, o desempenho estrutural e a disponibilidade de tecnologias assistivas;
- Aumentar os investimentos em P&D no País;
- Estimular a produção de novas tecnologias e inovações;
- Automatizar o processo manufatura e o incremento da produtividade;
- Promover o uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorizar a matriz energética brasileira;
- Garantia da capacitação técnica e da qualificação profissional no setor de mobilidade e logística;
- Garantia da expansão ou manutenção do emprego no setor de mobilidade e logística.

Alinhado ao programa Rota 2030, e como forma de promover o desenvolvimento sustentável da mobilidade dando suporte à adequação da cadeia automotiva para a inserção massiva dos VEs e veículos movidos a biocombustíveis, o governo federal brasileiro criou no final de 2023 o programa nacional de Mobilidade Verde e Inovação (MOVER). Este programa visa ampliar as exigências de sustentabilidade impostas aos veículos além de promover ações que estimulam o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas a logística e mobilidade.

Um dos grandes destaques deste programa é a iniciativa “Do poço à roda”, que se refere a medição das emissões de carbono contabilizando todo o ciclo da fonte de energia empregada, isto é, da extração ao uso final. Estas iniciativas e ações vêm a promover a mobilidade e logística sustentável de baixo carbono, ampliando os requisitos obrigatórios de sustentabilidade, promovendo as políticas públicas e reafirmando o compromisso com a descarbonização, além de atrair investimentos para o setor (FI GROUP, 2024a).

Os investimentos na implementação de estações de recarga bem localizadas é um dos gargalos para a mobilidade elétrica ter êxito. Diante disto, as concessionárias de energia elétrica estão se mobilizando para adequar o sistema de energia elétrica, em especial a COPEL e a CEEE Grupo Equatorial Energia, as quais possuem projetos de P&D em mobilidade elétrica em andamento e/ou finalizado.

A COPEL em parceria com a Itaipu Binacional, foi pioneira no Brasil na execução e instalação de uma eletrovia com 730 km da BR-277, interligando Foz do Iguaçu – PR a Paranaguá – PR, com 12 estações de recarga no ano de 2018 (COPEL, 2021). Da mesma maneira, o CEEE Grupo Equatorial Energia no final de 2023 inaugurou a Rota Elétrica Mercosul, interligando a cidade do Chuí – RS, no extremo sul do Brasil, a cidade de Torres – RS. A Rota Elétrica Mercosul totaliza um percurso de aproximadamente 1.000 km de extensão pela BR-101, atualmente com 10 estações de recarga (EQUATORIAL ENERGIA; CEEE, 2023), com previsão de instalação de mais duas estações de recarga, e somado a isto, duas estações de recarga nas instalações da Universidade Federal de Santa Maria já em operação (campus sede e campus Cachoeira do Sul). Ambas eletrovias tem o propósito de servir de corredor para interligar o Brasil com países do Mercosul, propiciando uma maior interação entre países vizinhos.

Outra questão que merece destaque é a estreita relação entre a academia, o setor de energia e a indústria, ressaltando a importância do elo entre instituições públicas e privadas. Neste contexto, estes projetos servirão de vanguarda para o desenvolvimento sustentável de estações de recarga, além de serem precursores na transição energética no Brasil no que compreende a mobilidade elétrica.

Até agosto de 2023 havia um total de 3800 estações de recarga instaladas no Brasil, segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE) (ABVE, 2023). Contudo, de acordo com o anuário estatístico da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), estes números são pouco expressivos quando comparados a

quantidade de postos revendedores de combustíveis automotivos, que em 2022 totalizavam a marca de 43.266 (ANP, 2023). Isso justifica a necessidade de expansão da infraestrutura de carregadores e a distribuição de estações de recarga, que de certa forma, sem sua ampliação massiva não permitirá a evolução e transição para a eletromobilidade.

EVOLUÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO MUNDO

Os mercados de VEs estão experimentando um notável crescimento, com as vendas ultrapassando a marca dos 10 milhões e representando 14% de todos os carros novos vendidos no ano de 2022. Este aumento é substancial em comparação aos cerca de 9% observados em 2021 e aos menos de 5% registrados em 2020. As vendas globais de VEs estão apontando para alcançar um novo recorde este ano, ampliando sua parcela no mercado automotivo para quase um quinto (20%) e protagonizando uma transformação notável na indústria de automóveis, com reflexos significativos no setor de energia, especialmente em comparação aos tradicionais veículos (IEA, 2022).

Os preços dos combustíveis gasolina e diesel são voláteis e altos, e embora os VEs ainda tenham um custo inicial superior aos veículos de combustão convencional, o menor custo da eletricidade como fonte de energia compensará amplamente a longo prazo o investimento inicial. Os VEs têm o potencial de reduzir drasticamente os custos do combustível consumido, a energia elétrica, devido à alta eficiência dos componentes de acionamento elétrico, os quais apresentam uma eficiência de 60% a 73%, dependendo do ciclo de condução. Contudo, se a energia recapturada a partir do sistema de frenagem regenerativa for levada em consideração, a eficiência energética dos VEs pode superar os 77% (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2024).

As fabricantes de automóveis apresentam planos para acelerar a eletrificação de novos VEs leves e pesados. A maioria das principais empresas planejam lançar dezenas de modelos de VEs nas próximas décadas, estabelecendo metas de vendas e comprometendo-se a encerrar, eventualmente, a produção de veículos movidos a combustíveis fósseis. Para alcançar esses objetivos de eletrificação, as montadoras pretendem investir bilhões de dólares ao longo da próxima década em pesquisa e desenvolvimento, além de construir novas instalações de manufatura, com foco especial na produção de baterias.

As comercializações de VEs têm experimentado um crescimento exponencial devido à diminuição de despesas, aprimoramento tecnológico e respaldo governamental. Existem diversos países que estão adotando VEs em larga escala. A distribuição global das vendas é liderada por três mercados proeminentes, a China, a Europa, e Estados Unidos, os quais representam aproximadamente 60% das vendas globais de VEs (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2023). Como forma de denotar a evolução gradual da comercialização de VEs no mundo, a Figura 2 expressa a evolução dos principais mercados automotivos versus a estimativa global para a neutralidade de carbono no âmbito dos VEs.

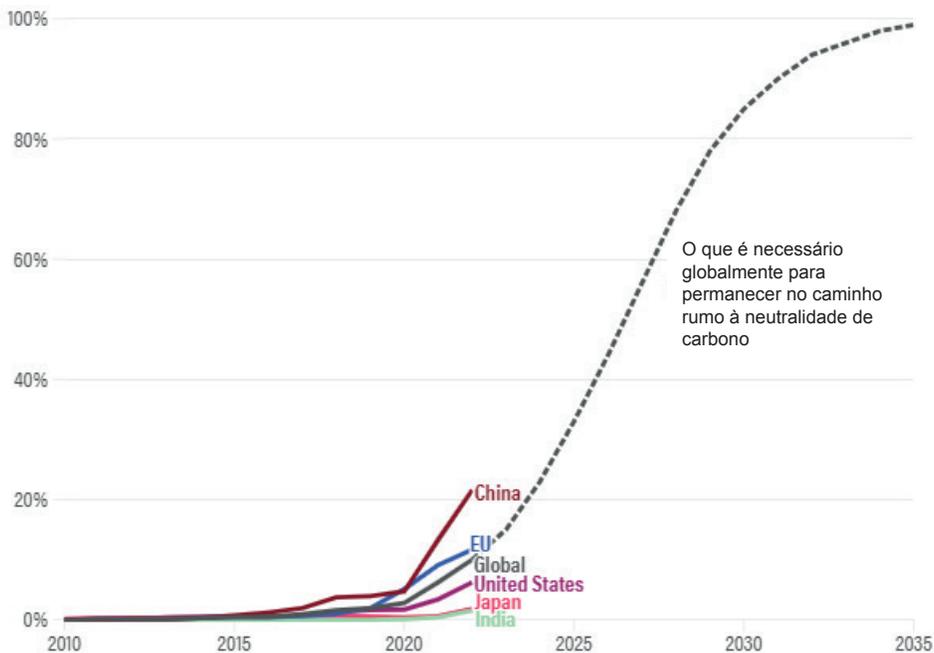


Figura 2 - VEs como participação nas vendas de veículos de passageiros.

Fonte: Adaptado de (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2023)

Observando a Figura 2, apenas a China e a Europa estão à frente das perspectivas de planejamento da transição da eletromobilidade, com respectivamente 21,6% e 11,7% dos percentuais de comercialização de VEs em 2022. As premissas para este mesmo ano indicavam que, para atender as metas de neutralidade de carbono, a comercialização Global de VEs deveria ser de 10%, tendo um crescimento exponencial ao longo dos anos, chegando em 2030 com um percentual de 85%.

A presença da China nessa lista é particularmente significativa, considerando que é o maior mercado automotivo do mundo. Atualmente, mais da metade dos VEs em circulação no mundo encontram-se nas rodovias chinesas, denotando que o país já superou suas metas para novas vendas de VEs estabelecidas para até 2025 (BNN BLOOMBERG, 2023).

Na Europa, o segundo maior mercado, a comercialização de VEs aumentaram em mais de 15% em 2022. Os quatro países com a maior parcela de vendas de VE são a Noruega (veículos totalmente elétricos representaram 80% das vendas de veículos de passageiros em 2022), Islândia (41%), Suécia (32%), Holanda (24%). Nos Estados Unidos, o terceiro maior mercado, as vendas de VEs aumentaram impressionantes 55% em 2022, alcançando uma participação nas vendas de 8% (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2023).

Este cenário reflete uma mudança global em direção à adoção massiva de VEs, com implicações significativas para a indústria automotiva e os esforços globais para reduzir as emissões de carbono. Diante disto, o crescimento do mercado de VEs pode ser observado na Figura 3 para todas as regiões mencionadas anteriormente.

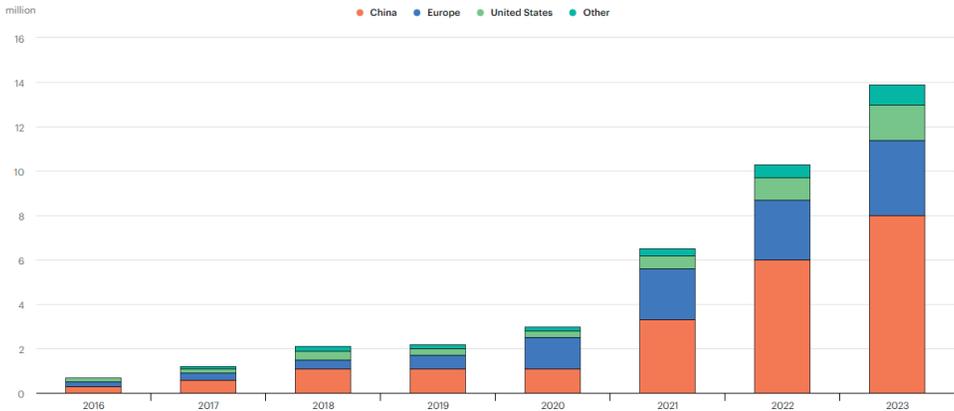


Figura 3 – Venda de VEs no mundo.

Fonte: (IEA, 2023)

Como exposto na Figura 3, a China chegou a marca de mais de 60% dos VEs no mundo para o ano de 2023, totalizando 8 milhões de VEs. Já a Europa e os Estados Unidos totalizaram respectivamente 3,4 e 1,6 milhões de VEs comercializados neste mesmo ano, seguido de 0,9 milhões para o restante do mundo. Percebe-se os esforços dos grandes mercados para a disseminação dos VEs, no entanto, ainda há carência de incentivos para uma solidez na inserção dos VEs.

Um dos grandes obstáculos que precisa ser superado para que os VEs se popularizem ainda mais é o desenvolvimento das tecnologias de baterias. Os VEs não são tão atrativos para o consumidor comum devido à sua autonomia limitada, tempos prolongados de recarga e custos iniciais elevados. A maioria dos VEs vendidos podem percorrer entre 200 e 300 milhas (aproximadamente a 320 e 480 km) com uma única carga em condições de clima temperado. Isso é mais do que suficiente quando consideramos que os americanos dirigem, em média, 36 milhas por dia (em torno de 58 km). Entretanto, para viagens longas ou simplesmente em condições de clima extremamente frio, um VE pode precisar de uma recarga a cada 3-4 horas, fato que dificulta a mobilidade elétrica em larga escala (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2023).

A escassa disponibilidade de infraestrutura de recarga também representa um desafio significativo para a adoção generalizada de VEs. Estabelecer a infraestrutura para os VEs é uma tarefa complexa pois muitos condutores relutam em escolher o VE, a menos que haja uma infraestrutura substancial para recarregá-los. Contudo, se não houver quantidade suficiente de VEs nas estradas, é altamente improvável que empresários e serviços de recarga realizem investimentos significativos no desenvolvimento da infraestrutura.

A adoção de VEs implica no aumento exponencial do consumo de energia elétrica, e a capacidade do sistema elétrico precisará ser expandido para evitar sobrecarga e

possíveis danos aos seus componentes. O Instituto de Energia da Universidade do Texas avaliou a demanda elétrica necessária caso cada estado americano convertesse todos os carros de passeio, caminhões e SUVs para veículos elétricos *plug-in* na maioria dos estados o consumo de energia aumentou na faixa de 20 a 30%. Avaliando esta situação, apenas alguns estados teriam capacidade excedente para atender à crescente demanda com a infraestrutura atual (EESI, 2020).

Em complemento, segundo a EPE e com base perspectivas da *Our World in Data* (HANNAH RITCHIE; ROSADO, 2020) e a *Shell* (SHELL, 2024), a participação relativa dos combustíveis fósseis tenderá a diminuir gradativamente até 2100 na matriz energética mundial, conforme demonstrado na Figura 4.

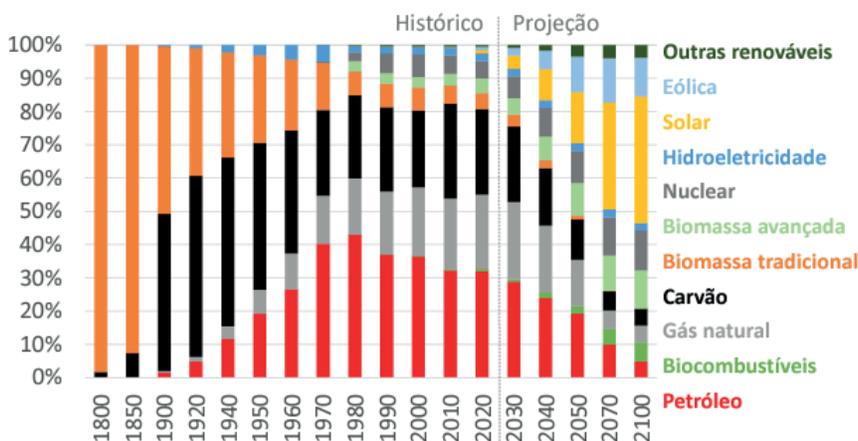


Figura 4 – Matriz energética mundial: histórico e projeção

Fonte: (EPE, 2023a)

A redução da participação relativa dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial é necessária tendo em vista a mitigação do aquecimento global e os esforços mundiais para a descarbonização do mundo. Observa-se que as energias renováveis terão papel crucial nesta transição, sendo a energia fotovoltaica a principal dentre todos os recursos energéticos da matriz energética ao final de 2100, acompanhando a demanda crescente dos VEs. Contudo, a transição energética ocorrerá na presença dos combustíveis fósseis, a qual no final deste centenário não deve se tornar nula, mas com significativa redução (EPE, 2023a).

CONCLUSÃO

A mobilidade elétrica é um dos principais desafios da transição energética com vista na descarbonização da matriz energética mundial. É esperado a redução dos combustíveis fósseis em substituição pelos recursos energéticos renováveis. Da mesma forma, as premissas de expansão em larga escala dos VEs em substituição a frota convencional devem alavancar exponencialmente ao longo dos anos, com o aproveitamento dos recursos energéticos renováveis para suprir essa crescente demanda.

No entanto, muitas são as dificuldades e obstáculos para esta transição. A falta de infraestrutura, a pouca expressividade de estações de recarga em rodovias barram a massiva inserção dos VEs no país. A nível mundial, e que também se aplica no Brasil, a baixa autonomia das baterias dos VEs e os expressivos tempos de recarga são outro fator determinante para a evolução da mobilidade elétrica. Contudo, observa-se que muitos são os esforços para que estes problemas sejam contornados, onde pode-se citar as pesquisas envolvendo instituições público e privadas, aliadas a academia.

Embora haja diversos percalços para a transição energética e a eletromobilidade, com a inserção em massiva dos VEs, este é o caminho indicado para a redução das emissões de carbono e para o desenvolvimento sustentável do mundo. Por fim, este estudo tem como base em elucidar trabalhos acadêmicos acerca da mobilidade elétrica no Brasil e das perspectivas no mundo sobre as presentes dificuldades sobre os VEs e da transição energética.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio técnico e financeiro da **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001**, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, e Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Instituições Brasileiras.

REFERÊNCIAS

ABVE. **Elétricos rumo a 150 mil emplacamentos em 2024**. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/rumo-a-150-mil-eletricos-emplacados-em-2024/>>. Acesso em: 8 jan. 2024.

_____. **Os oito meses que mudaram a eletromobilidade**. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/oito-meses-que-mudaram-o-mercado-de-eletromobilidade/>>. Acesso em: 12 jan. 2024.

ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2023**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasil. Rio de Janeiro: [s.n.], 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2023>>. Acesso em: 12 jan. 2024.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Implementation Challenges and Evolving Solutions for Rural Communities**. Disponível em: <<https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-benefits-and-challenges/challenges-and-evolving-solutions>>. Acesso em: 16 jan. 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **These Countries Are Adopting Electric Vehicles the Fastest**. Disponível em: <<https://www.wri.org/insights/countries-adopting-electric-vehicles-fastest>>. Acesso em: 15 jan. 2024.

RESÍDUOS SÓLIDOS E A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO AMBIENTAL EM POSTOS DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS

Data de aceite: 01/03/2024

Jéssica Juliana Braz Bicalho
Stellantis South America Betim - MG

Leonardo França da Silva
Universidade de Federal Viçosa
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>

Victor Crespo de Oliveira
Universidade Estadual Paulista
Botucatu – São Paulo (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0003-2719-9972-5380>

Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho
Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais

RESUMO: O posto de revenda de combustíveis é um local onde ocorre a comercialização de produtos inflamáveis, com isso, os riscos são eminentes e a saúde e segurança no trabalho nessas áreas devem ser levadas à sério, devido ao alto risco de acidente. A geração e a disposição indevida dos resíduos sólidos perigosos gerados no empreendimento também se tornam grande preocupação do ponto de

vista da saúde e segurança do trabalhador, além do ponto de vista ambiental, podendo causar diversos passivos ambientais. O presente trabalho demonstrou, através de revisão bibliográfica informações a respeito dos possíveis resíduos sólidos perigosos e não perigosos gerados nos postos de combustíveis, além da importância da gestão ambiental como forma de prevenção neste local, visando a necessidade da implantação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, sendo um instrumento com objetivo de diminuir a geração e assegurar o acondicionamento e destinação final correta a esses resíduos. A presente pesquisa teve como objetivo apresentar o importante gerenciamento dos resíduos sólidos e identificar a necessidade da gestão ambiental nos postos de combustíveis. Os resultados obtidos mostraram a importância por parte do empreendedor em fazer investimentos em prol da conscientização dos seus funcionários e envolvidos, visando minimizar os impactos causados ao meio ambiente e a saúde e segurança de cada um deles, aliado a aplicação da educação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Posto de Combustível, Gestão de Resíduos, Caracterização, Segurança do Trabalho.

SOLID WASTE AND THE IMPORTANCE OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN FUEL RETAIL STATIONS

ABSTRACT: A fuel station is a location where the sale of flammable products takes place, leading to inherent risks. Therefore, occupational health and safety in these areas must be taken seriously due to the high risk of accidents. Improper generation and disposal of hazardous solid waste from the business are also significant concerns from both a worker health and safety perspective and an environmental standpoint, potentially causing various environmental liabilities. This study, through literature review, provided information on possible hazardous and non-hazardous solid wastes generated at fuel stations. It emphasized the importance of environmental management as a preventive measure, highlighting the need for implementing a Solid Waste Management Plan. This plan aims to reduce waste generation and ensure proper storage and disposal of these residues. The research aimed to underscore the critical role of solid waste management and identify the necessity of environmental management in fuel stations. The results demonstrated the importance for entrepreneurs to invest in raising awareness among employees and stakeholders, aiming to minimize the environmental impact and ensure the health and safety of everyone, coupled with the application of environmental education.

KEYWORDS: Fuel Station, Waste Management, Characterization, Occupational Safety.

INTRODUÇÃO

Os postos revendedores, comumente conhecido pela maioria da população como postos de gasolina, indicam um espaço destinado para abastecimento de combustíveis em automóveis, fazendo parte das pessoas que adquirissem um automóvel sendo necessário frequentar constantemente este local. Além da atividade de revenda de combustíveis o empreendimento pode prestar a atividade de lava jato, troca de óleo, loja de conveniência, borracharia, dentre outros. Este tipo de empreendimento pode ser encontrado em centros urbanos, áreas rurais, rodovias e estradas (SÁ, 2016).

A Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000 considera que os postos revendedores são empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais, em razão dos riscos que traz para o meio ambiente, por este motivo é exigido o licenciamento ambiental pela legislação vigente. O licenciamento ambiental é um instrumento de comando e controle das atividades que possui potencial de poluição, podendo servir como instrumento de prevenção para uma gestão ambiental, quando aplicada com eficiência (SANTOS, 2005).

Segundo Lima e Cabral (2010) os postos de combustíveis possuem alto potencial de contaminação de lençóis freáticos e solo sendo um dos motivos o descarte inadequado das embalagens plásticas de lubrificantes, além de causar doenças aos seres humanos. Uma outra possibilidade de contaminação proveniente dos postos de combustíveis é através de vazamento de combustíveis, troca de óleo, estopas e papéis contaminados.

A Política Nacional de Meio Ambiente, estabelecida pela Lei federal 6.938/81 formulando o Sistema Nacional de Meio Ambiente, define o sistema de licenciamento ambiental como instrumento de tutela e proteção ao meio ambiente, passado a ser o mecanismo de comando principal e controlando as questões ambientais adotado pelo poder público SANTOS (2005). A resolução CONAMA 237 de 12 de dezembro de 1997 regulamenta os aspectos de Licenciamento Ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente.

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). De acordo com a PNRS os resíduos sólidos são materiais, objetos, substâncias ou itens que são descartados por meio de atividades humanas, sendo a destinação final de forma a proceder, se propõe a proceder ou se está obrigado a proceder.

O presente trabalho demonstra, através de revisão bibliográfica, pesquisas em literaturas científicas, normas, deliberações normativas, livros e artigos pertinentes ao assunto abordado. A revisão engloba a classificação dos postos de combustíveis, as atividades desenvolvidas nos postos de revenda, a classificação dos resíduos sólidos gerados nos postos de gasolina, local de armazenamentos desses resíduos e sugestões para aplicação de gestão ambiental neste tipo de empreendimento.

Busca-se avaliar a importância da gestão ambiental por parte da empresa via treinamentos, ensinamentos e conhecimentos. A gestão ambiental se torna eficaz desde a implantação dos resíduos até a sua eliminação, isto é, durante toda a sua vida útil, sendo que algum dos resíduos gerados nos postos de revenda podem ser reaproveitados por meio de procedimentos corretos adotados atendendo as normas ambientais e diminuindo assim os impactos ambientais e da saúde humana.

DESENVOLVIMENTO

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017, a qual estabelece critérios para classificação segundo porte, potencial poluidor/degradador e de localização utilizados na definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos no Estado de Minas Gerais e dá outras providências, para postos de combustíveis têm listagem F – Gerenciamento de resíduos e serviços, classificado como F-06-01-7 “Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação”, podendo ser classificado seu potencial poluidor/degradador das atividades como pequeno (P), médio (M) ou grande (G), por meio das variáveis ambientais de ar, água e solo. Ainda diante da Deliberação Normativa COPAM nº 217 o porte dos postos de combustíveis é classificado de acordo com sua capacidade de armazenamento, sendo $\leq 90 \text{ m}^3$ considerado porte pequeno, $90 \text{ m}^3 < \text{Capacidade de Armazenamento} \leq 150 \text{ m}^3$ porte médio e $> 150 \text{ m}^3$ classificado como porte grande.

Mediante informações contidas na Deliberação Normativa COPAM nº 108, de 24 de maio de 2007, em seu Art. 6º, relata que ficam dispensadas do licenciamento ambiental e da AAF os postos de combustíveis com capacidade total de armazenamento menor ou igual a 15m³ (quinze metros cúbicos), “desde que destinadas exclusivamente ao abastecimento do detentor das instalações, devendo ser construídas de acordo com as normas técnicas da ABNT em vigor, ou na ausência delas, com normas internacionalmente aceitas”.

A questão de geração de resíduos sólidos das atividades dos postos de abastecimento estão cada vez mais preocupantes, devido aos riscos estarem relacionados à segurança e saúde dos funcionários além dos riscos que podem causar ao meio ambiente, como por exemplo contaminação de lençóis freáticos e do solo por meio de vazamentos de combustíveis, derramamento dos combustíveis ao abastecer os automóveis que podem contaminar a área de abastecimento gerando efluentes oleosos, estopas e papéis contaminados, lavagem de veículos e até mesmo papel higiênico e alimentos orgânicos proveniente de refeitórios e lojas de conveniência (COSTA; FERREIRA, 2008).

Alguns dos resíduos sólidos gerados nos postos de combustíveis são possíveis de serem reaproveitados desde que haja uma gestão ambiental, com a criação de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos descrevendo as atividades do empreendimento contendo desde seu manejo, acondicionamento, coleta, tratamento e destinação final, atendendo as normas vigente. O objetivo desta gestão ambiental se faz na redução e reciclagem da geração dos resíduos provenientes dos postos de combustíveis, conseqüentemente ocorre a diminuição dos impactos ao meio ambiente, contribuindo também para a saúde humana (LIMA; CABRAL, 2010).

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NOS POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS

Segundo Santos (2005), os postos de gasolina podem oferecer vários serviços. Na figura 1 é apresentado um esquema típico para esse tipo de empreendimento, podendo ser observado as bombas de abastecimento (instalações de abastecimento de veículos automotivos), área de descarga (local onde os tanques são reabastecidos) e tubulações enterradas.

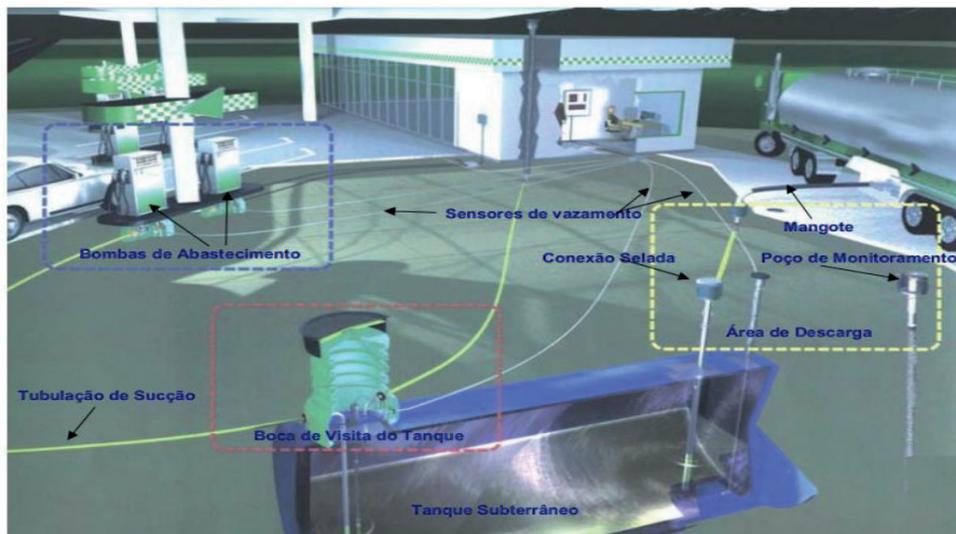


Figura 1: Esquema típico de um posto revendedor de combustível

Fonte: Santos (2005).

Ainda, segundo Santos (2005), em resumo, as atividades mais frequentes em um posto revendedor de combustíveis são: Recebimento de combustíveis via caminhão tanques; Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustível-SASC; Abastecimento dos veículos automotivos; Operação do sistema de drenagem oleosa separada da fluvial; Troca de óleo dos veículos automotores; Lavagens de veículos; Operação da loja de conveniência, refeitórios e restaurantes; Setor administrativo/arquivo morto. Devido essas atividades utilizarem produtos químicos e produtos perigosos, os resíduos gerados podem apresentar impactos negativos ao meio ambiente (SÁ, 2016).

CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece critérios de classificação e os códigos de identificação dos resíduos de acordo com suas características, mostrado na figura 2.

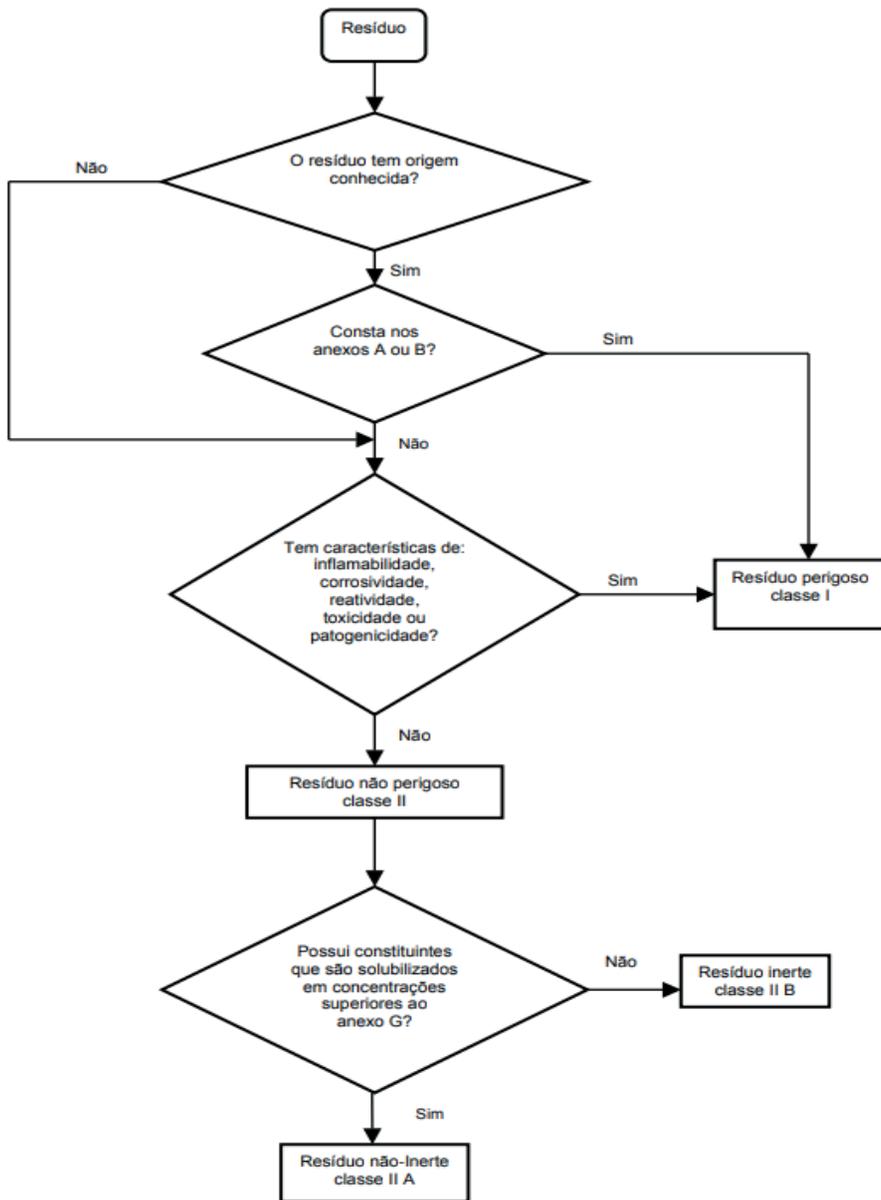


Figura 2: Fluxograma de caracterização e classificação de resíduos, dado pela NBR 10.004

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004).

Resíduos classe I (perigosos): Apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Resíduos classe II A (não inertes): Não se enquadram na classe I e classe II B. Podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade a água

Resíduos classe II B (inertes): Esses tipos de resíduos ao entrar em contato com a água não foram solubilizados e nem alteram os padrões de potabilidade de água.

Nos postos de revenda de combustíveis, após analisar a classificação dos resíduos sólidos da NBR 10.004/2004, destaque-se que o empreendimento gera resíduos sólidos das três classes como por exemplo, óleo lubrificantes, filtros de ar, filtros de óleo, estopas, panos, buchas, lama, areia, lodo, lâmpadas fluorescentes se enquadrando na classe I, os rejeitos sanitários, restos de alimentos, garrafa pet, material do setor administrativo se enquadrando na classe II A e os vidros na classe II B. No Quadro 1 pode ser verificada a classificação dos resíduos gerados em postos de revenda de combustíveis.

CLASSE	RESÍDUOS
I	Estopas, papéis/papelões contaminados com óleo, embalagem de óleo lubrificante, filtros (de óleo, ar e combustível), óleo lubrificante usado, lama, areia e lodo, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, eletrônicos.
II	Rejeito sanitário, papel, orgânico, plásticos, garrafas pet, alumínio.
III	Vidro

Quadro 1: Classificação dos resíduos gerados em posto de revenda

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NOS POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS

Os resíduos sólidos gerados nos postos de combustíveis se originam das suas atividades prestadas, como abastecimento, troca de óleo, lavagem de veículos, setor administrativo, loja de conveniência e restaurante. Esses resíduos são classificados como classe I, classe II A e classe II B, de acordo com a NBR 10.004/2004.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 108, de 24 de maio de 2007, o piso das áreas de abastecimento, troca de óleo e lavagem de veículos deverão ser de concreto e impermeabilizados. O sistema de drenagem oleosa deve coletar os efluentes líquidos através de canaletas e direcionados a um sistema de Caixa Separadora Água e Óleo (CSAO).

Segundo Franqueto, Delponte e Franqueto (2018) na área de abastecimento, os frentistas utilizam flanelas para limpeza de bico da bomba no final do abastecimento dos

veículos automotores para evitar que gotas de combustível atinjam o veículo e o piso da área. Além de flanelas, na área de abastecimento gera estopas, papel, embalagem plástica e óleo lubrificante.

Na área de troca de óleo os resíduos gerados são: filtro de óleo, filtro de ar, filtro de combustível, estopa e o óleo. Estes resíduos são classificados como classe I, entram nesta lista também as lâmpadas fluorescentes, de luz mista, vapor sódio e mercúrio, além dos eletrônicos (FRANQUETO; DELPONTE; FRANQUETO, 2018).

No setor de lavagem de veículos os resíduos são poluentes devido aos produtos químicos utilizados, como por exemplo o shampoo automotivo. Além do shampoo, a área de lavagem gera resíduos do tipo luva, avental, detergente, toalha, água, cera, embalagens plásticas. Estes resíduos são classificados como classe I (FRANQUETO; DELPONTE; FRANQUETO, 2018).

Os resíduos provenientes do setor administrativo, refeitório, restaurante e loja de conveniência são os papéis comuns, plásticos, orgânicos, PET, papel higiênico, absorventes e demais resíduos classificados como classe II. No Quadro 2 estão apresentados os resíduos sólidos gerados nos postos de combustível e o seu local de geração.

RESÍDUO	LOCAL DE GERAÇÃO
Estopas, panos, buchas e papéis/papelões contaminados com óleo.	Pista de abastecimento, troca de óleo e lavagem de veículo.
Embalagens de óleo lubrificante	Troca de óleo.
Filtros de óleo, de combustível e de ar.	Troca de óleo.
Óleo lubrificante usado (contaminado)	Troca de óleo e CSAO
Lama, areia e lodo.	CSAO, caixas de areia, caixa de passagem, canaletas.
Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista	Todo o empreendimento.
Eletroeletrônicos (computadores e seus componentes, telefones, celulares, calculadoras e impressoras)	Todo o empreendimento.
Elementos filtrantes (papelo bomba de diesel).	Todo o empreendimento.
Lixo comum misturado	Pista de abastecimento, loja de conveniência, banheiros e setor administrativo.

Quadro 2: Resíduos sólidos perigosos e não perigosos gerados em posto de gasolina.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

CÓDIGO DE CORES PARA OS DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS

A Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril 2001 “estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva”, sendo importante sua aplicação para minimizar a crescente do impacto ambiental. A mencionada resolução, segue o padrão de cores: Azul (papel/papelão); Vermelho (plástico); Verde (vidro); Amarelo (metal); Preto (madeira); Laranja (resíduos perigosos); Branco (resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde); Roxo (resíduos radioativos); Marrom (resíduos orgânicos); Cinza (resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação).

Nos postos de gasolina não são gerados resíduos radioativos, madeira e resíduos dos serviços de saúde (cores: roxo, marrom e branco). Sendo assim, não se faz necessário a aplicação de todas as lixeiras com as cores propostas pela Resolução CONAMA, o excesso de cores pode dificultar o correto descarte dos resíduos por parte dos consumidores e colaboradores do posto, pois nem sempre possuem conhecimento do assunto (SÁ, 2016).

Segundo Batista (2013), visando à otimização do processo, já que a Resolução CONAMA propõe diversas cores e isso dificulta a segregação por falta de conhecimento do assunto, é bastante utilizado a segregação em menos cores. Sendo elas: Amarelo (resíduos recicláveis); Marrom (resíduos orgânicos); Cinza (rejeitos); Laranja (resíduos perigosos, tambor com tampa rotulados).

LOCAL DE ARMAZENAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos gerados na área de abastecimento, troca de óleo e lavagem de veículos são classificados como classe I, isto é, resíduos perigosos, por isso, devem ser acondicionados em locais adequados e repassados para empresa ambiental licenciada para transportar e destinar este produto de forma correta. O acondicionamento desses resíduos podem ser feitos por contêineres e tambores, estando em área coberta, com boa ventilação e rotulados (FRANQUETO; DELPONTE;FRANQUETO, 2018).

As Caixas Separadoras Água e Óleo (CSAO) presentes nos postos de revenda possuem seus efluentes tratados após a passagem pela caixa e em seguida esse efluente é lançado em rede pública de esgoto. A lama gerada é coletada, transportada e destinada por empresa ambientalmente correta contratada pelo empreendimento (SÁ, 2016). Esse resíduo proveniente da CSAO é classificado como classe I.

Os resíduos classe II devem ser armazenados em tambores/lixeiras, tanques ou a granel para que a coleta seletiva do município faça o transporte até o local apropriado (SÁ, 2016). De acordo com a NBR 11.174/1990 que trata sobre o armazenamento de resíduos não perigosos, os resíduos devem estar identificados de forma correta e sua classificação deve estar visível. Os resíduos devem ser armazenados em locais que evitem a contaminação

ambiental e considerar o uso do solo, topografia, geologia, recursos hídricos, acesso, área disponível e meteorologia (SÁ, 2016).

Para evitar que os resíduos não perigosos sejam contaminados pelos perigosos, os mesmos devem ser armazenados separadamente. Caso isso ocorra, os resíduos classe II devem ser tratados como classe I (LIMA; CABRAL, 2010).

GESTÃO AMBIENTAL PARA POSTO REVENDEDOR DE COMBUSTÍVEL

A gestão ambiental é vista como investimento, uma maneira de minimizar o custo das atividades e tendo como consequência aumentar a receita. Ainda segundo Melgar (2005), a organização gerencia as suas questões ambientais, identificando os impactos ambientais e os aspectos de suas atividades, produtos e serviços, medindo e avaliando o desempenho e examinando suas atividades com o objetivo de aperfeiçoamento.

Segundo Santos (2005) é apresentado as principais diretrizes de um sistema simplificado de Gestão Ambiental para Posto Revendedor de Combustíveis:

- **Liderança e Comprometimento:** o proprietário e/ou operador do Posto de gasolina deve demonstrar liderança e comprometimento em implantar e manter o sistema de gestão ambiental por meio de participação ativa com sua equipe de funcionários e colaboradores;
- **Objetivos Estratégicos:** garantir que as atividades do posto revendedor estejam em conformidade com as legislações, qualidade ambiental, da segurança e saúde ocupacional dos colaboradores e vizinhança;
- **Organização e Responsabilidade:** definir os papéis, tarefas descritas e garantia via treinamento de cada colaborador do empreendimento;
- **Gerenciamento dos Riscos Ambientais e seus Efeitos:** deve ser feita uma avaliação dos riscos ambientais que estão envolvidos nos postos de revenda e identificar os impactos que podem alcançar ao meio ambiente;
- **Verificação e Controle Ocupacional:** realizar o monitoramento das atividades, tais como: atendimento da legislação, atendimento a normas, controle de vazamentos, manutenção preventiva, itens de não conformidade do plano de ações etc;
- **Análise da Administração:** realizar periodicamente o Sistema de Gestão Ambiental, verificando a necessidade de melhorias e correções no sistema.

PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 da Política Nacional de Resíduos, o plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

- I - descrição do empreendimento ou atividade;
- II - diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;
- III - observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:
 - a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;
 - b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;
- IV - identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;
- V - ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;
- VI - metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e à reutilização e reciclagem;
- VII - se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31;
- VIII - medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos;
- IX - periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama.

De acordo com Franqueto, Delponte e Franqueto (2018) um dos objetivos do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos é o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados, garantindo seu acondicionamento, transporte e destinação ambiental correta, de forma a garantir que ao sair do seu local de origem não polua outros locais. Uma das alternativas para a destinação correta dos resíduos é a separação dos mesmos nos coletores adequados conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 275 de 2001.

Para evitar ou minimizar a geração de resíduos do empreendimento no setor administrativo/conveniência, se faz viável o reaproveitamento de papéis para rascunho, utilização de xícaras ao invés de copos descartáveis, substituição de cartuchos de tinta convencionais para os cartuchos recarregáveis, substituição de sabonete em barra por sabonete líquido, dentre outros (FRANQUETO; DELPONTE; FRANQUETO, 2018).

Na pista de abastecimento, troca de óleo e lavagem de veículos, os resíduos perigosos devem ser descartados em tambores para que possam ser coletados por empresa contratada (FRANQUETO; DELPONTE; FRANQUETO, 2018). De acordo com Canchumani (2013), o óleo lubrificante usado contém hidrocarbonetos, que poderiam ser recuperados.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL

De acordo com Melgar (2005) acredita-se na possível mudança através de atitudes de todo o coletivo, a ser conquistada por meio da educação. Os especialistas ambientais, físicos e biólogos, consideram que a diminuição e as mudanças de comportamentos nos hábitos de consumo sejam uma forma única para a saída quando se trata de Desenvolvimento Sustentável, os especialistas sociais apoiam essa ideia, apoiando que a educação ambiental é o único caminho para a conquista.

Pode-se afirmar ainda que a Educação Ambiental é uma educação crítica da realidade vivenciada, o qual forma o povo cidadão, transforma valores e comportamentos através de novos hábitos, novas informações, criando uma ética, mobilizando a relação entre o homem, natureza e a sociedade (MELGAR, 2005).

Falando sobre a educação ambiental, se faz viável a implantação de programas de educação ambiental, como ministração do Programa de Treinamento de Segurança e Meio Ambiente por profissional habilitado da área, apresentar a importância da utilização de EPI (Equipamento de Proteção Individual), orientar os colaboradores sobre a separação correta dos resíduos, apresentar os riscos ao abastecer fazendo uso de celular, o perigo ao fumar no local onde possui líquidos inflamáveis e demais temas sobre o assunto abordado (ÁVILA, LARANJEIRA e RECH, 2016).

Segundo Sá (2016) uma forma de apresentar a importância do descarte adequado dos resíduos gerados nos postos de combustíveis seria por meio de cartilhas, panfletos ou folhetos educativos com linguagem de fácil compreensão e podendo ser fixado em locais estratégicos.

NR 06 - EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EPI

Em todo e qualquer ambiente de trabalho, o empregador está exposto a diversos riscos ambientais, sabendo que o uso de equipamentos de proteção individual possui importante dever de proteção em seu processo laboral (GONZAGA, 2017).

O Ministério do Trabalho, por meio da Portaria nº 3.214 de 1978, publica a consolidação das normas de segurança e medicina do trabalho e menciona de acordo com a NR-06 que trata sobre os equipamentos de proteção individual:

6.1 Para os fins de aplicação desta Norma Regulamentadora - NR, considera-se Equipamento de Proteção Individual - EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

6.1.1 Entende-se como Equipamento Conjugado de Proteção Individual, todo aquele composto por vários dispositivos, que o fabricante tenha associado contra um ou mais riscos que possam ocorrer simultaneamente e que sejam suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

6.3 A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, nas seguintes circunstâncias:

a) sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais e do trabalho;

b) enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas; e,

c) para atender a situações de emergência.

(BRASIL, 2018, p.1).

A NR-6 concebe que a empresa além de ser obrigada a fornecer gratuitamente o Equipamento de Proteção Individual, deve orientar e treinar o trabalhador para a obrigatoriedade e o uso correto do equipamento. O uso de luvas de segurança para proteção dos membros superiores contra materiais perfurocortantes, umidade, produtos químicos, calor e etc, proteção respiratória para proteger as vias respiratórias e face contra vapores, poeiras e etc, protetor auricular, avental para proteger o funcionário de respingos de combustíveis e produtos de limpeza, óculos de segurança para proteção dos olhos contra respingos de produtos químicos, radiação e perfuração, creme de proteção para hidratar e barreira química contra graxas, óleos, gasolina, dentre outros e botas para proteger os membros inferiores é indispensável para os trabalhadores que estão expostos a riscos inerentes à atividade exercida (GONZAGA, 2017).

Segundo o deputado distrital João Cardoso (2020) o Benzeno é uma substância cancerígena podendo causar leucopenia, sendo uma redução do número dos leucócitos no sangue. A substância é extraída do petróleo e utilizada no processo para produção da gasolina, solventes e graxas, colas e resinas e sendo o benzeno inalado pode causar irritação gástrica causando náuseas e vômitos.

Na figura 3 é apresentado a importância da utilização do EPI para proteger os trabalhadores de riscos que possam ameaçar a sua saúde e segurança, visto que a gasolina contém solventes que podem evaporar e entrar em contato com o corpo. Já na figura 4 mostra alguns dos equipamentos de proteção individual que são fundamentais para prevenir o surgimento de doenças.

VENENO NO AR

A GASOLINA CONTÉM SOLVENTES QUE PODEM EVAPORAR E ENTRAR EM CONTATO COM O CORPO



Figura 3: Importância do EPI

Fonte: João Cardoso (2020).



Figura 4: EPI's nos postos de combustível

Fonte: Brasil Postos (2014).

NR 20 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO COM INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS

Segundo Gonzaga (2017) as normas regulamentadoras foram criadas e alargadas para oferecer condições seguras e fortalecer o local de trabalho para redução e possível eliminação dos riscos existentes, desta maneira a NR-20 diz respeito à segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis.

Esta Norma Regulamentadora - NR estabelece requisitos mínimos para a gestão da segurança e saúde no trabalho contra os fatores de risco de acidentes provenientes das atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação de inflamáveis e líquidos combustíveis. (BRASIL, 2022, p.1e2).

A exposição ocupacional dos funcionários a produtos químicos ou como solventes orgânicos, gasolina, óleos diesel, estão dispostos em diversos ambientes de trabalho, podendo causar problemas prejudiciais à saúde do trabalhador, levando em consideração que o contato com esses produtos ocorre por meio da pele, mucosa ou sistema respiratórios (CERQUEIRA et al., 2010).

Em seu anexo IV da NR-20 que trata sobre a exposição Ocupacional ao Benzeno em Postos de Serviço Revendedores de Combustíveis Automotivos tem como objetivo estabelecer critérios de segurança e saúde no trabalho para as atividades dos postos de revenda que contém o benzeno. Um dos tópicos do mencionado anexo diz respeito ao treinamento e capacitação dos trabalhadores que diz:

5.1 Os trabalhadores que irão exercer atividades com risco de exposição ocupacional ao benzeno devem receber treinamento inicial com carga horária mínima de 4 (quatro) horas.

5.1.1 O conteúdo do treinamento deve contemplar os seguintes temas:

- a) riscos de exposição ao benzeno e vias de absorção;
- b) conceitos básicos sobre monitoramento ambiental, biológico e de saúde;
- c) sinais e sintomas de intoxicação ocupacional por benzeno;
- d) medidas de prevenção;
- e) procedimentos de emergência;
- f) caracterização básica das instalações, atividades de risco e pontos de possíveis emissões de benzeno; e
- g) dispositivos legais sobre o benzeno.

Segundo a NR-20 o treinamento periódico deve ser ministrado de 2 (dois) em 2 (dois) anos com conteúdo e carga horária conforme mostrado no artigo 5.1 acima. Um segundo artigo importante descrito na norma relata sobre o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO, mencionando que todos os colaboradores de posto de gasolina “devem realizar, com frequência mínima semestral, hemograma completo com contagem de plaquetas e reticulócitos, independentemente de outros exames previstos no PCMSO”.

Moraes (2012) afirma que, outra estratégia para a prevenção aos agravos relacionados à exposição ocupacional é a realização dos exames periódicos, os quais devem ser executados mediante organização do PCMSO.

A figura 5 mostra a sinalização obrigatória constante no artigo 13.1 da NR-20 referente ao benzeno, dizendo:

13.1 Os PRC devem manter sinalização, em local visível, na altura das bombas de abastecimento de combustíveis líquidos contendo benzeno, indicando os riscos dessa substância, nas dimensões de 20 x 14 cm com os dizeres: “A GASOLINA CONTÉM BENZENO, SUBSTÂNCIA CANCERÍGENA. RISCO À SAÚDE”



Figura 5: Placa de sinalização de presença do Benzeno

Fonte: SINDIPETRO-SC (2018).

LOGÍSTICA REVERSA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos referente aos resíduos sólidos determina algumas definições, quais sejam:

Logística Reversa: Instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Os sistemas de logística reversa é um instrumento que vem se tornando cada dia mais conhecido e sendo demonstrada sua importância da operacionalização e equacionamento logístico para que o produto seja retornável (LEITE, 2011). Para que seus objetivos sejam atingidos, algumas atividades são de devida importância, como por exemplo: o transporte, gestão de estoque e o processamento de pedidos (BALLOU, 2007).

A aplicação da logística reversa está diretamente relacionada às atividades de gerenciamento do retorno de produtos daquele que adquire o produto até aquele que fornece o mesmo, incluindo-se a disposição de embalagens e resíduos, reciclagem, reuso e remanufatura (SÁ,2016).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL,2010) lista envolvidos que devem obrigatoriamente estruturar e implantar o sistema de logística reversa, estando inclusos: Óleos lubrificantes, seus resíduos e suas embalagens; Pneus; Pilhas e baterias; Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; Produtos eletroeletrônicos juntamente com sua composição.

Observando a lista acima, os postos de combustíveis devem realizar a logística reversa, permitindo que os resíduos gerados tenham seu destino ambientalmente correto além de ser economicamente viável para o empreendedor (SÁ,2016).

CONCLUSÕES

Essa revisão bibliográfica buscou apresentar os resíduos sólidos perigosos e não perigosos gerados em postos de revenda de combustíveis e demonstrar que suas atividades possuem um grau elevado de contaminação que ao manusear os resíduos de forma incorreta podem trazer diversos impactos ao meio ambiente e a saúde humana, além de apresentar a importância da gestão ambiental neste tipo de empreendimento.

Uma das preocupações do gerenciamento de resíduos sólidos é como esses resíduos estão sendo descartados, garantindo que ao sair de sua origem não estejam contaminando outros locais. Muitas das vezes por falta de conhecimento por parte dos empresários e seus funcionários, os resíduos gerados são descartados de forma incorreta.

Dessa forma, algumas propostas de medidas foram sugeridas para uma eficiente gestão ambiental nos postos de combustíveis, como por exemplo: criação de um setor responsável dentro do empreendimento para executar e administrar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos auxiliando na redução dos riscos de impacto ao meio ambiente e aos funcionários, orientar os funcionários que façam o descarte adequado dos resíduos por meio das lixeiras com cores seguindo as orientações da Resolução CONAMA nº 273, direcionar os efluentes líquidos da lavagem de veículos por canaletas para que cheguem às Caixas Separadoras que em seguida vão para a rede de esgoto, implantação de cursos de treinamento e educação ambiental como seminários, aulas expositivas, cartilhas, exploração do ambiente de trabalho entre os funcionários e fornecedores, contratação de empresa ambientalmente correta para gerenciamento dos resíduos sólidos perigosos.

Aplicar no empreendimento um Sistema de Gestão Ambiental não quer certificação, mas a sua utilização de forma voluntária previne diversos danos ambientais que são provenientes de suas atividades, é uma questão ética com a sociedade e com o meio ambiente, visto que requer atitude da empresa, distribuidora, revendedor, funcionário, consultoras e sim, de todos.

Concluiu-se que a aplicação da gestão ambiental nos postos de gasolina tem-se um papel muito importante, podendo despertar em cada colaborador a busca de soluções para problemas ambientais, além de minimizar os riscos relacionados à saúde e segurança do trabalhador, pois qualquer serviço que envolva a segurança do trabalho tem como objetivo assegurar a saúde e a segurança dos colaboradores, sendo a gestão ambiental parte da administração de toda e qualquer empresa.

Realizar este trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Segurança do Trabalho foi muito satisfatório, pois teve como objetivo promover a segurança e saúde de todos os trabalhadores e clientes presentes nos postos de revenda de combustíveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11174: Armazenamento de resíduos sólidos da classe II – não inerte e da classe III – inerte**. Rio de Janeiro, 1990.

ÁVILA, G. C.; LARANJEIRA, D.; RECH, D. da S. **Proposta de gerenciamento ambiental para regularização das atividades de um posto de combustíveis**. In: 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre/RS, 2016

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2007. 392 p.

BATISTA, Rafael Fontana. **Proposta de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) de um posto de combustível no município de Campo Mourão - Paraná**. 2013. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná., Campo Mourão, 2013.

BIBLIA Online. S.d. Disponível em: <https://www.biblionline.com.br/acf/tg/1/1-8>. Acesso em: 28 jun. 2022.

BRASIL. Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 de ago. 1981.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº237/97 –**Dispõe sobre conceitos, sujeição, e procedimento para obtenção de Licenciamento Ambiental, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 dez. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº273/00 – **Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 JAN. 2001. Seção1, p. 20-23.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº275/2001 – **Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 Jun. 2001.

BRASIL. PORTARIA Nº 3.214, DE 08 DE JUNHO DE 1978 - **Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL POSTOS. **EPI'S Nos Postos De Combustível**. 2014. Disponível em: <https://www.brasilpostos.com.br/noticias/saude-e-seguranca-do-colaborador/epis-nos-postos-de-combustivel-epis-nos-postos-de-combustivel-epis-nos-postos-de-combustivel/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

CANCHUMANI, G. A. L. **Óleos Lubrificantes Usados: um estudo de caso de avaliação de ciclo de vida do sistema de rerrefino no Brasil**. Tese de Doutorado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

CERQUEIRA, G. S. et al. **Dados da exposição ocupacional aos agrotóxicos em um grupo assistido por Uma unidade básica de saúde na cidade de cajazeiras, PB**. Revista Intertox de Toxicologia, risco ambiental e sociedade, v.3, n.1, nov-fev.

2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280739757_DADOS_DA_EXPOSICAO_OCUPACIONAL_AOS_AGROTOXICOS_EM_UM_GRUPO_ASSISTIDO_POR_UMA_UNIDADE_BASICA_DE_SAUDE_NA_CIDADE_DE_CAJAZEIRAS_PB>. Acesso em: 22 jun 2022.

COSTA, Giovani Aparecido da; FERREIRA, Osmar Mendes. **Identificação dos resíduos gerados em postos de combustíveis**. 2008. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008.

FRANK E SUSTENTABILIDADE (org.). **RESOLUÇÃO DO CONAMA 275 - ESTABELECE CORES PARA RESÍDUOS NA COLETA SELETIVA**. 2017. Disponível em: <https://www.franksustentabilidade.com.br/2017/04/resolucao-do-conama-275-estabelece.html>. Acesso em: 27 jun. 2022.

FRANQUETO, Rafaela; DELPONTE, Angelo Antonio; FRANQUETO, Renan. **Gerenciamento de resíduos gerados em postos de combustíveis: o caso de uma empresa na região sul do estado do Paraná**. Revista de Engenharia e Tecnologia, Blumenau, v. 10, n. 3, p. 82-93, nov. 2018.

GONZAGA, Josane Serra. **Saúde do trabalhador em postos de revenda de combustíveis: um olhar sobre a repercussão dos riscos ocupacionais**. 2017. 42 f. Tese (Doutorado) - Curso de Enfermagem, Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira, 2017.

João Cardoso. **Sancionada lei que obriga postos de gasolina do DF a oferecerem EPIs para frentistas**. 2020. Disponível em: <https://joaocardoso.com.br/sancionada-lei-que-obriga-postos-de-gasolina-do-df-a-oferecerem-epis-para-frentistas/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa e a regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Tecnológica Online, São Paulo 21 de maio. 2011. Disponível em <<http://www.tecnologica.com.br>>. Acesso em 27 jun. 2022.

LIMA, A. S. ; CABRAL, A. E. B. **Diagnóstico para implantação de plano de gerenciamento de resíduos sólidos em um posto de combustível na cidade de Fortaleza – CE**. In: SEMINÁRIO DA REGIÃO NORDESTE SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2., 2010, João Pessoa. Anais... João Pessoa: [s.n.], 2010. p. 01-09.

MELGAR, Maria José Ancieta. **EDUCAÇÃO AMBIENTAL NAS EMPRESAS: um estudo de caso na fischer fraiburgo agrícola ltda**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM nº 108/2007, 24 de maio de 2007. **Altera a Deliberação Normativa Copam 50/01, que estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis e dá outras providências.** Diário Oficial de Minas Gerais, Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 26 MAI. 2007.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM nº 217/2017, 06 de dezembro de 2017. **Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências.** Diário Oficial de Minas Gerais, Poder Executivo, Belo Horizonte, MG 08 dez. 2017.

Ministério do Trabalho. **NR6 - EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EPI.** Brasília-DF: Ministério do Trabalho, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-06.pdf>>. Acesso em: 22 jun 2022.

Ministério do Trabalho. **NR 20 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO COM INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS.** Brasília-DF: Ministério do Trabalho, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-20-atualizada-2022.pdf>>. Acesso em: 22 jun 2022.

MORAES, L. G. da S. **Condições de trabalho e saúde dos frentistas de postos revendedores de combustíveis do Município de Cruz das Almas - BA.** 2012. 54 f. Monografia (Graduação em Enfermagem) - Faculdade Maria Milza – FAMAM, Governador Mangabeira, 2012.

SÁ, Camila Coqueiro de. **Proposta para desenvolvimento de diretrizes básicas de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em um posto revendedor de combustíveis localizado em Nova Lima (MG):** estudo de caso. 2016. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Cefet - Mg, Belo Horizonte, 2016.

SANTOS, Ricardo José Shamá dos. **A gestão ambiental em posto revendedor de combustíveis como instrumento de prevenção de passivos ambientais.** 2005. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

SÃO PAULO. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gestão de resíduos sólidos.** S.d. Disponível em: <http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/ProjetoGestaoAmbienta/gestaoResiduosSolidos>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SINDIPETRO (Sc). **Portaria do Benzeno é alvo de fiscalizações.** 2018. Disponível em: <https://www.sindipetro.com.br/portaria-do-benzeno-e-alvo-de-fiscalizacoes/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

APLICATIVO EM REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DE DESENHO TÉCNICO NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

Data de aceite: 01/03/2024

Thiago Moreira Beck

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (2010). Mestrando no Programa de Mestrado Profissional em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-5223-7948>

Aline Couto da Costa

Doutora em Arquitetura pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura na Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) Campus Campos Centro – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-1533-2142>

Trabalho originalmente apresentado no X Congresso Integrado da Tecnologia da Informação (CITI): Tecnologias Emergentes: novos desafios na educação e na formação do profissional de TI, 27 a 29 de novembro de 2019, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF), Campos dos Goytacazes, RJ

RESUMO: O Desenho Técnico é um conteúdo importante em vários cursos no Ensino Profissional e Tecnológico. Entretanto, no processo pedagógico relativo ao tema, observam-se dificuldades dos alunos na representação de objetos tridimensionais, devido ao pouco desenvolvimento da visão espacial. Assim, considera-se que a Realidade Aumentada contribui para a ação educacional relacionada à percepção espacial e que o uso de aplicativo colabora com o ensino e a aprendizagem. Então, o objetivo deste trabalho é descrever o desenvolvimento, por parte dos autores, de um aplicativo para celular em Realidade Aumentada (RA) que visa facilitar o entendimento dos alunos em relação ao Desenho Técnico, sendo uma ferramenta que auxilia o processo pedagógico.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicativos móveis. Desenho Técnico. Realidade Aumentada.

AUGMENTED REALITY APP FOR THE TEACHING OF TECHNICAL DRAWING IN VOCATIONAL AND TECHNOLOGICAL EDUCATION

ABSTRACT: Technical Drawing is an important content in several courses in Vocational and Technological Education. However, in the pedagogical process related to the theme, students' difficulties are observed in the representation of three-dimensional objects due to the limited development of spatial vision. Thus, it is considered that Augmented Reality contributes to educational actions related to spatial perception and that the use of applications aids to teaching and learning. Therefore, the objective of this work is to describe how the authors developed an Augmented Reality mobile application that aims at facilitating students' understanding of Technical Drawing, as it is a tool that helps the pedagogical process.

KEYWORDS: Mobile apps. Technical Drawing. Augmented Reality.

APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO TÉCNICO EN EDUCACIÓN PROFESIONAL Y TECNOLÓGICA

RESUMEN: El Diseño Técnico es un contenido importante en varios cursos de Educación Profesional y Tecnológica. Sin embargo, en el proceso pedagógico relacionado con el tema, las dificultades de los estudiantes se observan en la representación de objetos tridimensionales, debido al poco desarrollo de la visión espacial. Por lo tanto, se considera que la Realidad Aumentada contribuye a la acción educativa relacionada con la percepción espacial y que el uso de aplicaciones colabora con la enseñanza y el aprendizaje. Entonces, el objetivo de este trabajo es describir el desarrollo, por parte de los autores, de una aplicación móvil de Realidad Aumentada que tiene como objetivo facilitar a los estudiantes la comprensión del Diseño Técnico, siendo una herramienta que ayuda al proceso pedagógico.

PALABRAS-CLAVE: Aplicaciones móviles. Diseño técnico. Realidad Aumentada.

INTRODUÇÃO

O desenho acompanha a humanidade desde sua aurora, sendo inclusive prova da presença de povos primitivos por todo o globo. Com distintos objetivos, o desenho atravessou as eras e, atualmente, se divide em dois campos principais: o desenho artístico e o desenho técnico (GOMBRICH; CABRAL, 2012).

A representação gráfica distingue-se do desenho de finalidade artística por seus objetivos fundamentais. Enquanto o desenho artístico coloca-se para representar uma paisagem, uma ideia ou até mesmo um sentimento, a representação gráfica configura-se como uma linguagem universalizada, em que o desenhista vai além do aspecto pictórico de representação, atribuindo ao desenho informações precisas de um objeto, seja ele mecânico ou arquitetônico, tendo como finalidade a produção ou reprodução do objeto representado (FRENCH; VIERCK, 1999). O desenho artístico pode ser interpretado em diferentes medidas por qualquer pessoa, já o desenho técnico só pode ser interpretado por aquele que for versado em sua linguagem (FRENCH; VIERCK, 1999).

A linguagem da representação gráfica apresenta-se como de suma importância no ensino profissional e tecnológico, não somente por ser a linguagem universal da indústria, mas também por contribuir com o desenvolvimento da capacidade de visão espacial, muito importante para a formação omnilateral dos trabalhadores voltados principalmente para as áreas com vocação industrial.

No entanto, observam-se muitas dificuldades quando os alunos dos cursos de ensino profissional e tecnológico deparam-se com a representação de objetos tridimensionais, visto que a competência da visão espacial foi pouco desenvolvida nos anos anteriores de formação (ADÁNEZ; VELASCO, 2002).

O desenvolvimento da tecnologia, principalmente do exponencial aumento da capacidade de processamento de equipamentos portáteis, como o aparelho celular, traz a possibilidade de utilizar ferramentas de virtualização (CARMIGNIANI; FURHT, 2011) para reduzir a deficiência da visão espacial nos alunos.

Dentre as tecnologias em desenvolvimento no âmbito da visualização de objetos tridimensionais, há a Realidade Aumentada, que consiste em um método para superposição dos objetos virtualizados na imagem do ambiente real (CARMIGNIANI; FURHT, 2011). Ela consegue inserir o objeto tridimensional virtualizado no ambiente real da sala de aula, tendo um impacto positivo na dinamização da relação ensino e aprendizagem, aproximando o aluno do conteúdo apresentado, que, por sua vez, tende a obter um melhor rendimento acadêmico (MACEDO, 2011).

Isso pode ser feito com o uso do aparelho de celular como meio, reduzindo assim a necessidade de ateliês e laboratórios específicos, permitindo inovação e novas possibilidades de ensino e aprendizagem, sem impactar a infraestrutura escolar. Ademais, é possível utilizar um aplicativo - em inglês, *application (app)* - para celular como recurso didático, consistindo também em uma ferramenta do processo educacional.

Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho consiste em descrever o desenvolvimento de um aplicativo para celular em Realidade Aumentada que visa facilitar o entendimento dos alunos em relação à representação gráfica dos elementos tridimensionais do desenho, sendo uma ferramenta de mediação entre discente e docente, que auxilie o processo pedagógico.

Esse aplicativo é objeto da escrita deste artigo e foi dividido nas seguintes seções: Metodologia, com breve explicação dos procedimentos e recursos; O Desenvolvimento do Desenho Técnico e da Percepção Espacial, que traça um breve histórico do desenho técnico e sua evolução com o passar dos anos e apresenta um panorama relativo ao desenvolvimento da percepção espacial; Realidade Aumentada Aplicada à Educação, que apresenta uma fundamentação teórica relacionada ao tema do trabalho; Experiências sobre o desenvolvimento de aplicativos com Realidade Aumentada, para fins educacionais no contexto de desenho técnico, que traz dois estudos abordando a mesma temática; O Desenvolvimento do Aplicativo, que evidencia detalhes sobre a elaboração propriamente dita; e Considerações Finais, com uma breve conclusão desta etapa do trabalho.

METODOLOGIA

Em relação aos métodos e meios, inicialmente foi realizada uma fundamentação teórica e revisão bibliográfica por meio de pesquisas bibliográfica e documental sobre os temas de: Desenho Técnico, Projeção Ortogonal e Realidade Aumentada.

Também foram pesquisadas algumas experiências sobre o desenvolvimento de aplicativos para RA, com fins educacionais. Nesse contexto, foram selecionados dois exemplos para este trabalho, por estarem relacionados direta ou indiretamente à área de desenho. Buscou-se, assim, descrevê-los resumidamente, abrangendo alguns pontos considerados importantes para a proposta do desenvolvimento do aplicativo.

A partir dos estudos realizados, decidiu-se por desenvolver um aplicativo acompanhado de uma apostila, com o objetivo de auxiliar o processo pedagógico referente ao ensino de desenho técnico. Como se trata de um trabalho que está sendo realizado como projeto de dissertação de Mestrado Profissional, em que há uma limitação em relação ao tempo de planejamento, execução e apresentação de resultados, optou-se por focar em um dos conteúdos previstos no ensino de desenho, que são as projeções ortogonais.

Para o desenvolvimento do aplicativo, foram pesquisadas tecnologias que possibilitassem a organização e a apresentação de dados de modo adequado ao ensino desse tipo de conteúdo, que envolve a utilização de imagens de várias formas geométricas no espaço, incluindo também elementos como: rampas, furos de seção circular, chanfros, cantos arredondados, entre outros; bem como seus diferentes pontos de vista. Verificou-se, portanto, a necessidade de uso de *softwares* específicos para cada uma das etapas, a saber, a de modelagem dos objetos tridimensionais, a de desenvolvimento do *app* propriamente dito e a de rastreamento dos elementos de Realidade Aumentada.

O sistema operacional para o aplicativo também foi objeto de análise e a solução adotada baseou-se, entre outros, na disponibilidade e acessibilidade. Para isso, foram considerados, por exemplo, os dados da pesquisa de Kielty (2019) sobre a distribuição de mercado brasileiro referente a sistema operacional *Android vs iOS*, que serão apresentados mais adiante na seção Desenvolvimento do aplicativo.

O *app* foi intitulado de Aplicativo de Realidade Aumentada do Instituto Federal (ARIF) e concebido com o intuito de permitir uma interface de usuário simples e direta, com carregamento rápido e funcionamento eficiente. Para seu acesso e instalação, criou-se um código denominado *Quick Response Code (QR Code)*. Ademais, optou-se por separar as informações por seções, como por exemplo: apresentação, conteúdo (projeção ortogonal), autores, *links* etc.

Durante a elaboração da ferramenta, foram feitos alguns testes pelos autores do trabalho que possui formação acadêmica e profissional na área do desenho técnico. Todavia, embora não seja o foco desse artigo, deve-se ressaltar que o aplicativo está sendo testado por alunos e professores envolvidos diretamente no processo de ensino e

aprendizagem desse conteúdo, para avaliar a percepção quanto a seu uso e para validar o produto educacional na prática pedagógica cotidiana.

Como material de apoio, foi elaborada uma apostila, que está estruturada de modo a introduzir as atividades pedagógicas com o uso do aplicativo. Ela é composta por textos e ilustrações, possui linguagem técnica correspondente ao nível de ensino pretendido e contém: capa, manual de uso, conteúdo teórico sobre Projeções Ortogonais e aproximadamente 30 atividades relacionadas ao tema. Nela, está disponível o *QR Code* referente aos modelos criados nos exercícios e ao aplicativo. Para a elaboração da apostila, foram utilizados editores de texto, desenho e imagens, bem como um gerador do *QR Code*.

Deve-se destacar que o desenvolvimento desses produtos educacionais respaldou-se nas pesquisas e estudos realizados, como produto do programa de Mestrado Profissional em Educação Profissional e Tecnológica em Rede (ProfEPT), bem como nas inquietações e experiências acadêmicas e profissionais vivenciadas pelos autores deste artigo.

O DESENVOLVIMENTO DO DESENHO TÉCNICO E DA PERCEPÇÃO ESPACIAL

Diversos códigos gráficos foram deixados por civilizações passadas, seja pela intenção de exercer algum poder sobre sua caça, pela busca de preservar sua imortalidade, para demarcar sua trajetória, ou até como planos para construção de alguma máquina ou edificação (GOMBRICH; CABRAL, 2012; TRINCHÃO; OLIVEIRA, 1998).

Das pinturas rupestres, hieróglifos e iluminuras até as pinturas complexas do Renascimento, dos esboços de Leonardo da Vinci até os mais complexos projetos executivos das estações espaciais, o desenho tem o mesmo objetivo: comunicar (SILVA *et al.*, 2006). O que diferencia os diversos tipos de representações gráficas é a intenção e o objetivo que se deseja comunicar.

O artista executa um desenho, utilizando um modelo, uma paisagem ou sua imaginação, com a intenção de reproduzir um objeto em um momento do tempo, comunicar uma sensação e até mesmo um sentimento, que pode ser compreendido em maior ou menor grau por qualquer observador (FRENCH; VIERCK, 1999).

Por sua vez, o desenhista deve desenvolver seu desenho limitado a seu contorno e comunicar, através deste, todas as informações necessárias à reprodução do objeto desenhado, mesmo que, por fim, este desenho não represente o objeto tal qual ele é visto quando construído. O Desenho Técnico concebido como linguagem então pode apenas ser interpretado por aqueles que nela sejam versados (FRENCH; VIERCK, 1999).

O desenho construtivo nem sempre produziu resultados construtivos seguros (SULZ; TEODORO, 2014), devido à falta de técnica comum que estabelecia uma relação direta de signo e significado entre o desenhista e o construtor.

De acordo com Sulz e Teodoro (2014), o francês Gaspard Monge (1746-1818) teve papel fundamental na sistematização do desenho construtivo através da elaboração da Geometria Descritiva (GD), fundamentada sobre princípios rigorosos e exatos da Matemática, extrapolando os princípios da Geometria Plana. Trata-se do fundamento básico do Desenho Técnico, que permite a representação de qualquer objeto de três dimensões em um plano.

A evolução do desenho técnico acompanha os avanços tecnológicos e de meios de produção, em um primeiro momento por meio do sistema *Computer Aided Design* ou desenho auxiliado por computador (CAD), que permite uma interface direta com outros sistemas de produção industrial, que ainda assim exige um entendimento de desenho técnico do operador/desenhista (SULZ; TEODORO, 2014), e mais recentemente o *Building Information Modeling* ou modelo de informação da construção (BIM), uma nova tecnologia que permite uma construção virtualizada muito mais próxima do objeto real, facilitando a observação de possíveis incompatibilidades. Com esta tecnologia, somam-se ao modelo outras dimensões além das três dimensões espaciais, como por exemplo: o tempo e o custo. Os desenhos construtivos deixam de ser o meio para o desenvolvimento do projeto e se tornam um dos fins de representação do objeto (GARCÍA *et al.*, 2018).

Essa nova tecnologia, apesar de ressignificar o desenho técnico como etapa final do processo de criação, não exige do desenhista-operador do entendimento da linguagem do desenho; pelo contrário, exige que ele tenha um olhar ainda mais atento, visto que a quantidade de informações associadas ao modelo construído aumenta exponencialmente.

A linguagem do desenho técnico expressa-se de forma escrita ou gráfica. O desenho deve ser interpretado através da formação da imagem mental do objeto representado. O desenhista consegue, além de desenvolver e interpretar o desenho, conceber claramente o objeto no espaço, daí a importância da habilidade de percepção espacial (FRENCH; VIERCK, 1999).

Para Gutierrez (1996), a percepção espacial é baseada no uso de elementos visuais ou espaciais, mentais ou físicos, e é utilizada para resolver problemas ou comprovar propriedades.

A percepção espacial é composta por quatro elementos principais: imagens mentais, representações externas, processos de visualização e habilidades de visualização. Conforme Gutierrez (1996), imagem mental é o elemento básico da percepção espacial, e pode ser entendida como qualquer representação cognitiva de um conceito ou propriedade através de um elemento visual ou espacial. A representação externa é qualquer tipo de representação gráfica ou verbal de um conceito ou propriedade, como desenhos ou diagramas, por exemplo, que por sua vez auxiliam a construção ou a transformação das imagens mentais e a própria percepção espacial (GUTIERREZ, 1996). O processo de visualização é uma ação mental ou física em que estão envolvidas as imagens mentais (GUTIERREZ, 1996). O processo de visualização se divide em dois processos inversos:

a interpretação visual da informação, que utiliza as informações disponíveis para criar imagens mentais, e a interpretação das imagens mentais, que geram por sua vez informação (GUTIERREZ, 1996).

Por fim, as habilidades de visualização na conceituação de Gutierrez (1996), são as de percepção que devem ser adquiridas e desenvolvidas, pois são a caixa de ferramentas para resolução de problemas específicos da percepção espacial, como por exemplo, a capacidade de identificar e isolar um elemento específico de um plano de fundo complexo, ou a habilidade de continuar percebendo o objeto independente de alterações de tamanho, cor ou posição, também a habilidade de relacionar os objetos conforme sua orientação global, e ainda a capacidade de comparar diversos objetos ou imagens mentais para identificar semelhanças e diferenças entre eles.

Tanto Gutierrez (1996) quanto Montenegro (2005) afirmam que por ser uma capacidade mental, a percepção espacial pode ser estimulada por meio da realização de exercícios específicos, como a planificação em projeção ortogonal.

O conteúdo de projeções ortogonais foi escolhido para ser desenvolvido nesta pesquisa, dentre todos os outros conteúdos da disciplina de representações gráfica, por ser o primeiro momento dentro da disciplina em que é exigida dos alunos a abstração. Até então, o conteúdo trata de elementos bidimensionais, construções geométricas e técnicas de desenho, sendo este o momento crucial na formação da percepção espacial.

Desta forma, ao buscar congruência entre o desenvolvimento da percepção espacial e a evolução tecnológica disponível atualmente, a pesquisa utilizará da tecnologia de Realidade Aumentada para contribuir na construção da percepção espacial voltada para o ensino do desenho técnico.

REALIDADE AUMENTADA APLICADA À EDUCAÇÃO

A primeira concepção da RA data de 1950 e foi realizada por Morton Heilig, um cinematógrafo que construiu seu primeiro protótipo em 1962, na tentativa de incluir o espectador como elemento inserido no filme; porém não logrou sucesso devido às restrições tecnológicas de seu tempo. Em 1966, Ivan Sutherland inventou o *Head Mounted Display* (HMD), traduzido livremente como tela montada sobre a cabeça, e em 1968, ele foi o primeiro a criar efetivamente um sistema ótico de Realidade Aumentada (CARMIGNIANI; FURHT, 2011).

O termo Realidade Aumentada, porém, só foi cunhado em 1975 pelos engenheiros da *Boeing*, Tom Caudell e David Mizell, ao desenvolverem uma solução em Realidade Aumentada para auxiliar os trabalhadores na montagem dos cabos das aeronaves (CARMIGNIANI; FURHT, 2011).

Milgram e Kishino (1994) conceituaram o *continuum* de virtualidade (Figura 1) relacionando a mistura de classes de objetos apresentados simultaneamente em qualquer

tipo de tela. Os ambientes reais se posicionam no extremo esquerdo do *continuum*, enquanto os ambientes virtuais se colocam no extremo oposto; portanto para se ter um ambiente de realidade mista, há duas possibilidades: a primeira na qual objetos reais estão inseridos em ambiente virtual, classificados como virtualidade aumentada; a segunda é na qual objetos virtuais são inseridos em ambientes reais, classificando assim a Realidade Aumentada, abordada neste estudo.



Figura 1. *Continuum* de Virtualidade de Milgram

Fonte: Adaptado de Milgram e Kishino (1994, p. 2)

A RA é definida por Azuma (1997) como uma visualização em tempo real de um ambiente ou objeto do mundo real que foi melhorado/aumentado adicionando informação virtual gerada por computador, combinando objetos reais e virtuais.

O método para superposição dos objetos virtualizados na imagem do ambiente real é realizado em um ciclo com duas etapas de processamento distintas: rastreamento e reconstrução/reconhecimento. As imagens que realizam a interface entre a câmera e o processamento do aplicativo são chamadas de *trackers*, *targets* ou marcadores. No processo de rastreamento, esses marcadores são reconhecidos pela câmera do celular, que processa as informações de contraste e desenho específico de cada marcador, permitindo assim que o aplicativo reconheça o posicionamento da câmera, passando para a etapa de reconstrução/reconhecimento.

Com base no posicionamento relativo da câmera, é realizada a sobreposição do objeto virtualizado (CARMIGNIANI; FURHT, 2011). Esse ciclo é que permite o constante reposicionamento da relação câmera-marcador, permitindo a interação com o objeto virtualizado.

Existem diversos tipos de aplicação da tecnologia de RA, tais como: o uso em visualização na área médica, entretenimento, propaganda, manutenção e reparo, entre outras (AZUMA, 1997; CARMIGNIANI; FURHT, 2011; GONZÁLEZ, 2015).

Os questionamentos levantados por Azuma (1997), no trabalho intitulado “*A survey of augmented reality*” e traduzido livremente como “Uma pesquisa sobre Realidade Aumentada”, trazem a hipótese de que a RA realça a percepção dos usuários e sua interação com o mundo real, apresentando informações através dos objetos virtuais que o usuário não poderia captar com seus próprios sentidos, permitindo assim que a informação “aumentada” ajude o usuário a realizar tarefas do mundo real.

A RA tem grande potencial de aplicação na Educação, já que cada vez mais os alunos são nativos digitais que utilizam a tecnologia para suas atividades cotidianas (RIZOV; RIZOVA, 2015). Prensky (2001) esclarece que os nativos digitais apresentam uma familiaridade com os meios digitais possuindo a habilidade de *multitasking*, ou seja, a capacidade de realizar diversas tarefas ao mesmo tempo. Dessa forma, eles alteram a maneira como a educação deve ser imaginada; por isso devem-se rever os paradigmas educacionais anteriores visto que os avanços tecnológicos vêm alterando a matéria-prima da escola – os alunos, e a própria sociedade.

No processo pedagógico, a busca constante pela atenção e interesse dos alunos leva os professores a introduzirem novas metodologias e tecnologias de ensino (RIZOV; RIZOVA, 2015). Nesse contexto, a RA promove importantes conquistas de aprendizagem (AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G., 2017), apesar de algumas limitações técnicas e tecnológicas, como a necessidade de capacitação do professor com as ferramentas tecnológicas para se ter sucesso na utilização da tecnologia (VALENTE, 1995).

Ao vivenciar as experiências da sociedade do conhecimento, em vez de ser mero receptor, o aluno adquire as habilidades e valores desta (VALENTE, 1995). A RA é uma tecnologia promissora para aplicações educacionais, combinando elementos do mundo real e objetos virtualizados (MARTÍN-GUTIÉRREZ *et al.*, 2014). Representando o espírito do nosso tempo, a RA se coloca à disposição como potencial instrumento de mediação para a construção e compreensão dos signos e significados da representação gráfica e desenho técnico.

Experiências sobre o desenvolvimento de aplicativos com Realidade Aumentada, para fins educacionais no contexto de desenho técnico

Existem diversas experiências que incorporam as inovações educacionais com o uso da Realidade Aumentada (LOPES *et al.*, 2019). Nesta seção, serão descritos dois exemplos em que houve o uso de aplicativos para isso, considerando também sua relevância abrangendo direta ou indiretamente o ensino do desenho técnico.

Um deles refere-se à iniciativa, apresentada por Scortegagna e Gonçalves (2018), nas disciplinas de Expressão Gráfica e Desenho para Engenharia dos cursos de Engenharia da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Conforme relatado no estudo, foram disponibilizadas peças no aplicativo de realidade aumentada *Augment*, utilizadas pelos alunos como suporte em exercícios de geração de vistas ortográficas. Elas foram compostas por vários elementos específicos para desenvolver a visualização das mais diversas formas geométricas no espaço, cujos modelos tridimensionais foram feitos utilizando-se o *software* de modelagem em 3D CATIA V5R20 (SCORTEGAGNA; GONÇALVES, 2018).

Os alunos instalaram o aplicativo *Augment* em seus *smartphones* para utilizá-lo na realização dos exercícios. “Em sala de aula, foram exibidos os conjuntos de perspectiva e

QR Code, assim, com a câmera do smartphone direcionada para este, os alunos puderam visualizar em sua tela, a peça em 3D.” (SCORTEGAGNA; GONÇALVES, 2018, p. 4). Com essa visualização no aplicativo, era sugerido que os discentes imaginassem os planos verticais e horizontais da sala de aula como planos do primeiro diedro, em que cada parede seria um plano de rebatimento. Então, os estudantes precisavam identificar a vista frontal solicitada e alinhá-la à parede onde ficava a tela de projeção, apenas movimentando e rotacionando a peça; depois, sem rotacionar o modelo, deslocavam o objeto até a parede correspondente ao plano que geraria a vista a ser desenhada (Figura 2) (SCORTEGAGNA; GONÇALVES, 2018).

Após a aplicação da metodologia, foram obtidos resultados considerados satisfatórios pelos proponentes, que os fundamentaram por meio de uma pesquisa qualitativa a respeito da eficiência do método.



Figura 2. Projeção das vistas preferenciais da peça na sala de aula

Fonte: Scortegagna e Gonçalves (2018, p. 5)

Outro exemplo é descrito por Oliveira e Silva (2019), no estudo de caso desenvolvido no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O trabalho propõe um método de produção de objetos de aprendizagem, adaptados à RA, voltado para professores com pouco conhecimento tecnológico.

Na experiência, os autores selecionaram inicialmente um exercício da disciplina de desenho técnico, em que os alunos devem identificar e relacionar as faces e arestas de um dado objeto em perspectiva isométrica em suas respectivas vistas (OLIVEIRA; SILVA, 2019). Em seguida, criaram um modelo tridimensional, utilizando a linguagem *Javascript*, que foi hospedado na *web*, possibilitando a utilização dele tanto no aparelho celular quanto em um computador com dispositivo de câmera disponível (Figura 3).



Figura 3. Objeto representado em uma cena para uso com RA

Fonte: Oliveira e Silva (2019, p. 28)

Os responsáveis pelo projeto ponderam que esses objetos de aprendizagem, com a aplicação da tecnologia de RA, podem ser utilizados em cursos diversos que contam com a disciplina de desenho técnico, extrapolando o tema de projeções ortogonais e inclusive ser empregado em outras disciplinas (OLIVEIRA; SILVA, 2019).

Ambas as experiências aqui expostas consideram válido o uso da RA para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem. Foram realizadas técnicas distintas, porém

alcançando o mesmo objetivo de facilitar a compreensão dos sólidos propostos levando ao entendimento de suas projeções.

O aplicativo desenvolvido no presente trabalho opera com técnicas distintas para sua implementação tecnológica, buscando ancorar as informações contidas na Apostila Aumentada – material de base a ser utilizado em sala de aula – com ilustrações e sua contraparte em RA, além de modelos em RA para cada exercício proposto na disciplina.

O DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Apartir dos estudos realizados e para atingir o objetivo desse trabalho, foi desenvolvido um aplicativo para celular, intitulado ARIF, considerando a Realidade Aumentada para o ensino das Projeções Ortogonais em disciplinas que abordam o Desenho Técnico no ensino profissional e tecnológico.

Parte integrante desse produto educacional é a Apostila Aumentada, que apresenta o conteúdo das projeções ortogonais. Ela possui informações com linguagem acessível aos alunos e foi estruturada de forma bastante objetiva. A primeira seção da Apostila Aumentada denomina-se: “Como utilizar este material?”, e traz um uma breve introdução sobre o tema da Realidade Aumentada com o intuito de familiarizar os alunos com a tecnologia. Traz também as informações para a realização do *download* e instalação do aplicativo ARIF, por meio de um *QR Code*, além de exercícios para desenvolvimento.

Retornando ao aplicativo, seu desenvolvimento utilizou *softwares* específicos para cada uma de suas etapas. A modelagem dos objetos tridimensionais a serem virtualizados foi elaborada no *software Trimble Sketchup* (Figura 4), tendo como pontos de destaque a praticidade e fluidez na produção, edição e visualização de objetos tridimensionais. O *software* é intuitivo e tem diversos recursos para modelagem avançada e eficaz (PINHEIRO, 2013). Por fim, possui uma versão gratuita, tornando-o bastante democrático.

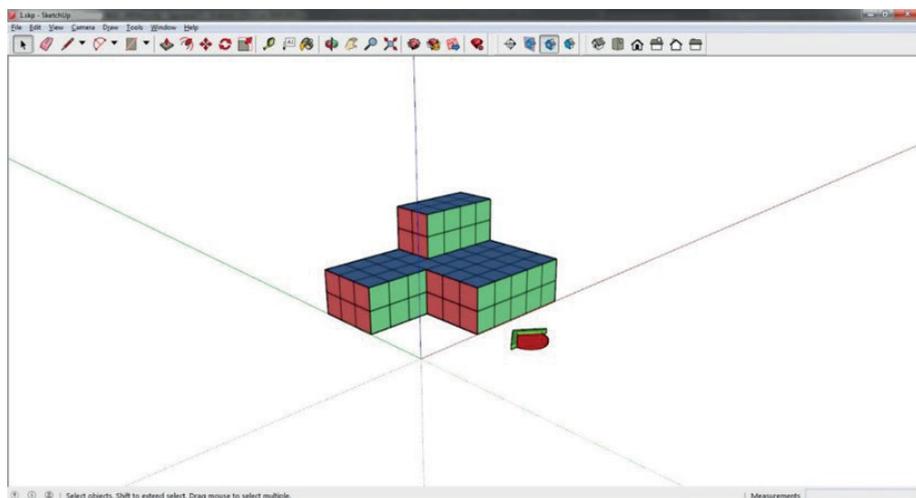


Figura 4. Exemplo de tela **Trimble Sketchup**

Fonte: Os autores (2019)

O desenvolvimento do aplicativo para celular foi executado utilizando o *software Unity3D* (Figura 5), também de distribuição gratuita, caso a sua receita com a utilização do mesmo não ultrapasse US\$ 100 mil por ano. Esse *software* de programação tem o enfoque em desenvolvimento de jogos multiplataformas, de duas ou três dimensões; porém é possível realizar todo o tipo de programação graças à possibilidade de uso de *scripts* em *C#* e *Javascript* (ELERO, 2018).

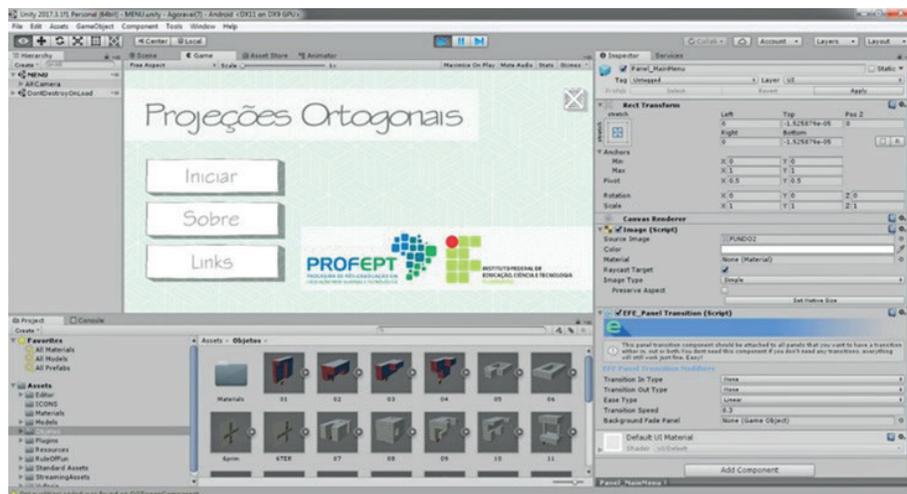


Figura 5. Exemplo de tela **Unity3D**

Fonte: Os autores (2019)

Em conjunto com o *Unity3D*, foi utilizado para desenvolver o rastreamento dos elementos de Realidade Aumentada, a extensão *Vuforia*, atualmente pertencente à empresa *PTC*, por ter boa qualidade de rastreamento e ter uma licença livre para fins educacionais.

O aplicativo foi desenvolvido para sistema operacional *Android* e os testes de funcionamento foram realizados em equipamento celular da marca *Motorola G7 Plus*. A opção pelo sistema *Android* foi devido ao seu domínio sobre o mercado nacional, em comparação ao sistema *iOS* da marca *Apple*, já que em 2019 tem representado mais de 75% do mercado (Figura 6) (KIELTY, 2019). Além disso, não existe taxa para o desenvolvimento de aplicativos neste sistema operacional.

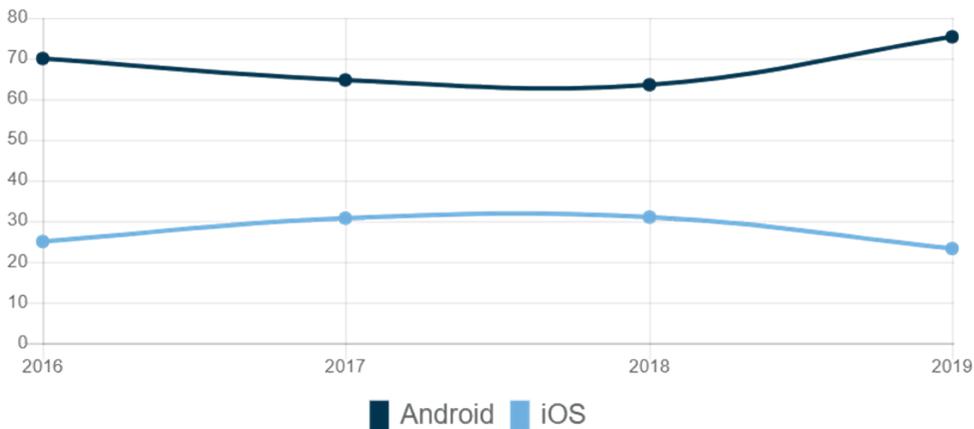


Figura 6. Gráfico de distribuição de mercado brasileiro referente a sistema operacional: **Android vs iOS**

Fonte: Kielty (2019)

O aplicativo ARIF foi desenvolvido com o objetivo de promover uma interface de usuário simples e direta, permitindo um carregamento rápido e funcionamento eficiente. Após a instalação por meio do *QR Code* fornecido por uma apostila que também está sendo desenvolvida como suporte ao aplicativo, ou o acesso pelo *link* [https:// drive.google.com/drive/folders/1BgH9XCaIV8rYy29AWxmv9W8S2kvm63vc? usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1BgH9XCaIV8rYy29AWxmv9W8S2kvm63vc?usp=sharing) o usuário pode iniciar o aplicativo por meio do ícone personalizado ARIF.

Na tela de carregamento (Figura 7), há a apresentação das logos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), do Mestrado ProfEPT, além da logo do *software* de desenvolvimento do aplicativo.



Figura 7. Captura da tela de carregamento

Fonte: Os autores (2019)

O menu principal (Figura 8), além da identificação da instituição e do curso, apresenta o conteúdo a ser abordado como título: Projeções Ortogonais. Há três botões que levam às demais telas: Iniciar, Sobre e Links, além do botão no canto superior direito para o encerramento da aplicação.



Figura 8. Captura da tela de menu principal

Fonte: Os autores (2019)

Ao tocar no botão Iniciar, é aberta a tela com a visão da câmera do dispositivo, com a logo estilizada para a aplicação e a marca d'água do complemento *Vuforia*. Ao direcionar o celular para a Apostila Aumentada, nas ilustrações que contém o ícone da RA, o aplicativo reconhece o marcador na apostila e sobrepõe na tela o objeto virtual correspondente (Figura 9). Existe no canto superior direito, o botão para retornar ao menu principal.

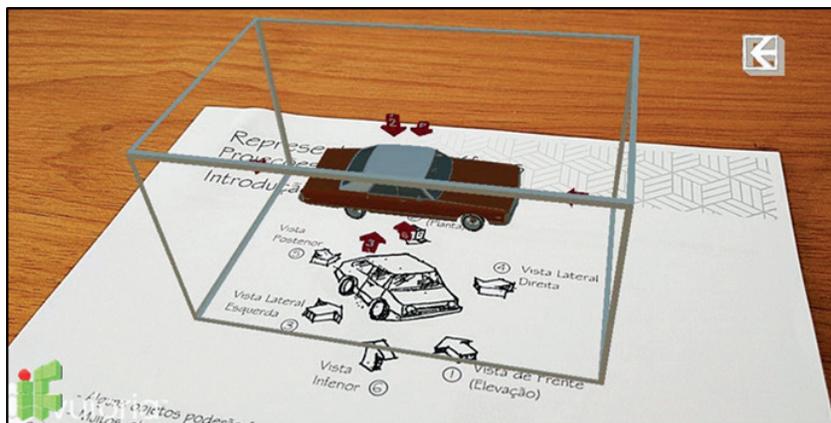


Figura 9. Captura da tela Iniciar

Fonte: Os autores (2019)

A tela Sobre (Figura 10) traz um breve resumo sobre a temática da aplicação e sua inserção como projeto do programa de Mestrado ProfEPT, em um campo de texto rolante. Além disso, há o botão que dá acesso às informações sobre os autores e também acesso direto à tela Links. Existe, no canto superior direito, o botão para retornar ao menu principal.

A tela Autores traz as informações básicas e de contato da autoria deste trabalho. Existe, no canto superior direito, o botão para retornar à tela Sobre.

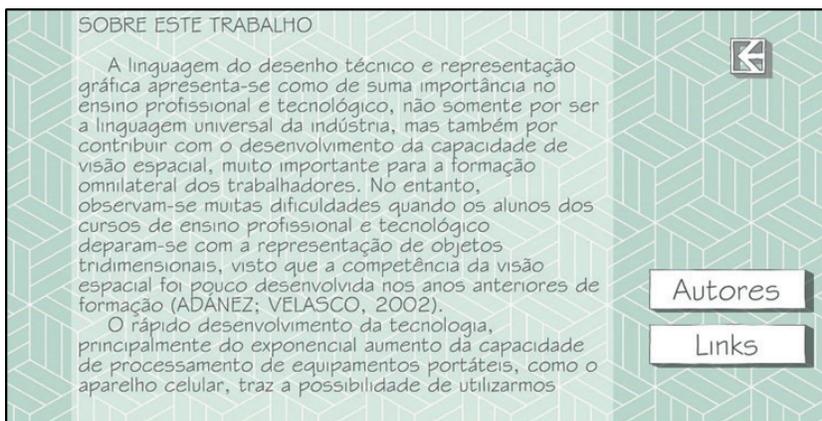


Figura 10. Captura da tela Sobre

Fonte: Os autores (2019)

Por fim, a tela Links (Figura 11) traz uma série de botões que abrem a tela do navegador de internet do aparelho celular, para acessar cada um dos itens.



Figura 11. Captura da tela Links

Fonte: Os autores (2019)

O botão ProfEPT leva o usuário até o *website* do programa de Mestrado ProfEPT (<https://profepit.ifes.edu>).

br/), o botão seguinte acessa o *website* do IFFluminense (<http://portal1.iff.edu.br/>), o terceiro acessa os currículos dos pesquisadores na plataforma Lattes. Em sequência, temos o *link* para a *download* direto da Apostila aumentada, além do botão que leva até a tela Sobre e no canto superior direito retorna à tela do Menu Principal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos e experimentos realizados nesse trabalho, verificou-se que é possível desenvolver um aplicativo voltado para o processo pedagógico relacionado ao Desenho Técnico, particularmente em relação ao ensino e aprendizagem de projeções ortogonais por meio do uso da Realidade Aumentada, com tecnologia de fácil acesso e gratuita.

Deve-se destacar que o uso do aplicativo em aparelho de celular como meio pedagógico reduz a necessidade de ateliês e laboratórios específicos no processo educacional, permitindo inovação e novas possibilidades de ensino e aprendizagem, sem impactar a infraestrutura escolar.

Sabe-se que nem todo aluno pode dispor de um aparelho celular; porém é possível incentivar a interação e mediação entre os estudantes de modo colaborativo, fazendo com que os discentes interajam de forma natural e solucionem essa dificuldade, seja através de empréstimo de aparelhos ou do uso em duplas ou trios. Em alguns casos, também pode haver a contribuição da instituição.

Outro desafio refere-se à dificuldade de atualização dos professores em relação a novas tecnologias, sendo necessário dotar o corpo docente de condições e oportunidades de capacitação. Nesse contexto, o próprio uso da tecnologia por meio de cursos *on-line* e/ou a distância podem minimizar esse problema.

Por fim, considera-se que o uso da tecnologia por meio do *app* para celular em Realidade Aumentada poderá auxiliar o entendimento dos alunos em relação à representação gráfica dos elementos tridimensionais do desenho, sendo uma ferramenta de mediação entre os alunos e o professor, visando favorecer a apreensão de conteúdo e consequentemente o processo pedagógico.

REFERÊNCIAS

ADÁNEZ, G.; VELASCO, A. D. Construção de um teste de visualização a partir da psicologia cognitiva. **Aval.**

psicol., Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 39-47, jun. 2002. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04712002000100005 &lng=pt&nrm=isso. Acesso em: 1 nov. 2019.

AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. **Educational Research Review**, v. 20, p. 1-11, nov. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X16300616?via%3Dihub>. Acesso em: 1 nov. 2019.

AZUMA, R. A Survey of Augmented Reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments** 6, p. 355-385, 4 ago. 1997. Disponível em: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. **Portaria Normativa nº 17, de 28 de dezembro de 2009**. Brasília, 2009. Disponível em: https://www.capes.gov.br/images/stories/download/legislacao/PortariaNormativa_17MP.pdf. Acesso em: 1 nov. 2019.

CARMIGNIANI, J.; FURHT, B. Augmented Reality: An Overview. In: FURHT, B. (ed.). **Handbook of Augmented Reality**. New York, NY: Springer New York, 2011. p. 3-46.

ELERO, M. R. **Desenvolvimento de software aplicado ao ensino de Engenharia Elétrica utilizando Unity 3D**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2018.

FRENCH, T. E.; VIERCK, C. J. **Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica**. São Paulo: Globo, 1999.

GARCÍA, D. S. P. *et al.* **Diretrizes para o Desenvolvimento de um Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários**: o conceito BIM na construção da plataforma SAEPRO. 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/saeapro/wp-content/uploads/2018/11/ESTRADAS-BIM.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2019.

GOMBRICH, E. H.; CABRAL, Á. **A História da Arte**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GONZÁLEZ, N. A. A. How to Include Augmented Reality in Descriptive Geometry Teaching. **Procedia Computer Science**, v. 75, p. 250-256, 2015.

GUTIERREZ, A. Visualization in 3–Dimensional Geometry: in search of a framework. In: PROCEEDINGS OF 20TH PME CONFERENCE FOR THE PSYCHOLOGY OF MATHEMATICS EDUCATION, 1., jul. 1996, Valencia.

Valencia: Dept. de Didàctica de la Matemàtica, Universitat de València, 1996. p. 3-19.

KIELTY, J. Android vs iOS *marketshare* Brazil. In: **DeviceAtlas**. 9 set. 2019. Disponível em: <https://deviceatlas.com/blog/android-v-ios-market-share#brazil>. Acesso em: 13 set. 2019.

LOPES, L. M. D. *et al.* Inovações Educacionais com o Uso da Realidade Aumentada: uma Revisão Sistemática. **Educ. rev.**, Belo Horizonte, v. 35, e197403, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010246982019000100403&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 jun. 2020.

MACEDO, S. DA H. **Uso de técnicas de realidade aumentada no processo de ensino-aprendizagem de eletromagnetismo**. 2011. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2011.

MARTÍN-GUTIÉRREZ, J. *et al.* Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. **Computers in Human Behavior**, n. 51, p. 752-761, 2014.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. **A Taxonomy Of Mixed Reality Visual Displays**, IEICE Transactions on Information Systems. v. E77-D, n. 12, 1994.

MONTENEGRO, G. **Inteligência Visual e 3-D**: Compreendendo conceitos básicos da Geometria Espacial. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2005.

OLIVEIRA, M. P.; SILVA, F. P. Use of Virtual Reality and Augmented Reality in Learning Objects: a case study for technical drawing teaching. **International journal of education and research** [recurso eletrônico], v. 7, n. 1, p. 21-32, Jan. 2019.

PINHEIRO, W. F. Representação gráfica no SketchUp como auxílio a prática projetual de arquitetura. *In*: SIMPÓSIO

NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 21.; INTERNATIONAL CONFERENCE

ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 10., 2013, Florianópolis, SC. **Anais** [...]. Florianópolis,

SC: Editora do CCE (UFSC), 2013. Disponível em: <http://wright.ava.ufsc.br/~grupohipermedia/graphica2013/trabalhos/>

REPRESENTACAO%20GRAFICA%20NO%20SKETCHUP%20COMO%20AUXILIO%20A%20PRATICA%20PROJETUAL%20DE%20ARQUITETURA%20-%20C3%B3pia.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

PRENSKY, M. Digital Natives, Digital Immigrants. **On the horizon, MCB University Press**, v. 9, n. 5, p. 6, 2001.

RIZOV, D. T.; RIZOVA, E. Augmented reality as a teaching tool in higher education. **International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education**, v. 3, p. 7-16, 2015. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5109026.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2019.

SCORTEGAGNA, L.; GONÇALVES, F. Utilização de Realidade Aumentada na Otimização do Ensino-Aprendizagem de Desenho Técnico na Engenharia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E 1º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 46., 2018, Salvador, BA. **Anais**

[...]. Salvador, BA: 2018. Disponível em: http://www.abenge.org.br/sis_submetidos.php?acao=abrir&evento=COBENGE18&codigo=COBENGE18_00046_00001597.pdf. Acesso em: 28 jun. 2020.

SILVA, A. *et al.* **Desenho Técnico Moderno**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

SULZ, A. R.; TEODORO, A. Evolução do Desenho Técnico e a divisão do trabalho industrial: entre o centro e a periferia mundial. **Rev. Lusófona de Educação**, Lisboa, n. 27, p. 93-109, set. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rle/n27/n27a07.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2019.

TRINCHÃO, G. M. C.; OLIVEIRA, L. R. A História contada a partir do desenho. *In*: GRAPHICA, 1998, Bahia. **Anais** [...]. Feira de Santana, BA: 1998. Disponível em: <http://www2.uefs.br/msdesenho/docs/historia-contada-a-partir-dodesenho.pdf>. Acesso em: 12 set. 2019.

VALENTE, J. A. Informática na Educação: conformar ou transformar a escola. **Revista Perspectiva**, Florianópolis, UFSC, CED, NUP, n. 24, p. 41-49, 1995. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/perspectiva/article/viewFile/10703/10207>. Acesso em: 1 nov. 2019.

ESTUDIO TERMOGRAVIMETRICO DE LA GENERACIÓN DE CALOR A PARTIR DEL COPROCESAMIENTO DE CARBON Y BIOMASA

Data de submissão: 08/02/2024

Data de aceite: 01/03/2024

Mario Jozef Cutimbo Quispe

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ingeniería de procesos industriales, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0009-0000-1291-9709>

José Luis Pineda Tapia

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0000-0001-9498-1169>

Yazmin Yaneth Agamez-Pertuz

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química.
<https://orcid.org/0000-0003-3326-4603>

Eduard Ricardo Romero Malagón

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química.
<https://orcid.org/0000-0002-5065-9116>

R. Alfredo Palomino Infante

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6453-586X>

Roxana Tacuri Robles

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ingeniería de procesos industriales, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0000-0002-0056-7109>

Godofredo Huanca Chambi

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0107-8056>

RESUMEN: la continua búsqueda de alternativas más eficientes en el aprovechamiento de los recursos energéticos a nivel industrial, ha permitido la implementación de diferentes propuestas como el co-procesamiento de combustibles para la generación y aprovechamiento de calor. En este estudio, se realizó una evaluación termogravimétrica de cinco muestras de carbón pertenecientes a las categorías bituminosas de los departamentos colombianos de La Guajira, Cundinamarca y Boyacá, los cuales se caracterizaron mediante análisis proximal, elemental, índice de hinchamiento libre y potencia, según Normas ASTM (ref). El bagazo de caña de azúcar también fue evaluado mediante análisis proximal, contenido de azufre y composición lignocelulósica. Estos materiales fueron sometidos a un análisis termo gravimétrico (TGA) en atmósfera de aire para seleccionar el combustible con las mejores características para el proceso

de combustión. Complementariamente se determinaron parámetros adicionales tales como la temperatura de combustión (T_m), la velocidad máxima a la que se obtiene la mayor conversión, así como las regiones en las que los principales eventos relacionados que se presentan en condiciones no isotérmicas. Los resultados muestran que los carbones de mejor comportamiento en el proceso de combustión son aquellos que contienen alto contenido de materia volátil, bajo contenido de cenizas y que no tengan propiedades aglomerantes, en tal sentido la muestra A-10, proveniente de la Guajira es el carbón más apropiado y de mejores características, ya que presenta condicionantes fisicoquímicas con valores de 40.16 % m, slmm de MV; 5,14 %m, bs de CZ y un índice de hinchamiento libre de $\frac{1}{2}$, constituyendo una clasificación de material no aglomerante, así mismo se concluye que el análisis TGA es una herramienta rápida y versátil para evaluar el comportamiento de los combustibles, durante el co-procesamiento carbón/biomasa, para su selección final.

PALABRAS-CLAVE: carbón-biomasa, co-procesamiento, generación de calor, Termogravimétrico.

THERMOGRAVIMETRIC STUDY OF HEAT GENERATION FROM THE COPROCESSING OF COAL AND BIOMASS

ABSTRACT: The continuous search for more efficient alternatives in the use of energy resources at industrial processes has allowed the implementation of different proposals such as the co-processing of fuels for the generation and use of heat. In this study, a thermogravimetric evaluation was carried out on five coal samples belonging to the bituminous categories from the Colombian departments of La Guajira, Cundinamarca and Boyacá, which were characterized by proximal, elemental analysis, free swelling index and power, according to Standards. ASTM (ref). Sugarcane bagasse was also evaluated by proximate analysis, sulfur content and lignocellulosic composition. These materials were subjected to a thermogravimetric analysis (TGA) in an air atmosphere to select the fuel with the best characteristics for the combustion process. Additionally, additional parameters were determined such as the combustion temperature (T_m), the maximum speed at which the highest conversion is obtained, as well as the regions in which the main related events occur under non-isothermal conditions. The results show that the coals with the best behavior in the combustion process are those that contain a high content of volatile matter, a low content of ash and that do not have agglomerating properties. In this sense, sample A-10, from La Guajira, is the more appropriate coal with better characteristics, since it presents physicochemical conditions with values of 40.16% m, slmm of MV; 5.14 %m, bs of CZ and a free swelling index of $\frac{1}{2}$, constituting a classification of non-binding material, it is also concluded that the TGA analysis is a quick and versatile tool to evaluate the behavior of fuels, during the coal/biomass co-processing, for final selection.

KEYWORDS: carbon-biomass, co-processing, heat generation, thermogravimetric.

INTRODUCCIÓN

La estructura energética, depende en gran parte de los combustibles fósiles generando grandes problemas en un futuro cercano, relacionados con el suministro y con las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), (ERH, 1979) y (Zhao, et al. 2013); por ello existe la imperiosa necesidad de encontrar otros sistemas de producción de energía (Essenhigh, 1979) (Gani, *et al.* 2005). La biomasa es neutra en emisión de dióxido de carbono (CO_2) (Scala, *et al.*, 2006), por tanto, es una alternativa atractiva para mitigar la generación de este gas contaminante y reducir el consumo de combustibles fósiles (U.U.P.M.E, 2015) (Porteiro, *et al.*, 2012); sin embargo, sola no puede suplir las necesidades energéticas mundiales (NussBaumer, 2003) (Smith, 1981).

El proceso de co-combustión de carbón y biomasa en industrias y centrales térmicas puede ser una alternativa para dar flexibilidad a los sistemas energéticos sustituyendo parcialmente el carbón (Gatterning, 2015) (De Diego, et al., 2002). La tecnología de co-combustión es un proceso en el cual la interacción térmica y química entre la biomasa (en este caso el bagazo de la caña de azúcar), el carbón y la mezcla oxidante permite producir energía sostenible (Diaz, 2012)

Dada la complejidad de los combustibles sólidos es necesario definir sus características químicas y físicas que son determinantes en el proceso de combustión (Manuel, 2008) (Cadena,2015). Entre estas características se tienen el análisis próximo, elemental, poder calorífico e índice de hinchamiento libre para el caso del carbón y para la biomasa los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina (Zhang, et al., 1992). Sin embargo, el análisis termogravimétrico (TGA), proporciona una evaluación rápida del combustible mediante la determinación del tiempo de combustión total, de las temperaturas de inicio, finalización y máxima combustión (Sis, 2007) (Jing, 2014). La técnica consiste en determinar la variación de peso con la temperatura bajo una rampa de calentamiento, o con respecto al tiempo para procesos isotérmicos (Barrera, 2007).

Como un primer acercamiento para examinar y seleccionar el tipo de carbón y de biomasa más adecuados para un proceso de co-combustión, en este trabajo se caracterizaron cinco carbones de Colombia de diferentes zonas y una biomasa residual (bagazo de caña de azúcar) acondicionados para un co-procesamiento y la posterior determinación de los parámetros termogravimétricos a partir del perfil de combustión de cada material.

MATERIALES Y METODOS

Carbón y biomasa

Para el presente estudio se seleccionaron carbones de la Guajira, Cundinamarca y Boyacá, departamentos conocidos por poseer abundantes reservas de carbones de diferentes calidades. Las muestras fueron suministradas por el Laboratorio de Investigación en Combustibles y Energía (LICE), que cuenta con un banco de muestras debidamente selladas y almacenadas. La biomasa es bagazo de caña de azúcar proveniente de la zona de Villeta (Cund.) La nomenclatura empleada se presenta en el Tabla 1

Departamento	Muestra	Codificación
La Guajira	Cerrejón	A – 10
	Cerrejón	A – 6
	Cerrejón	A – 3
Boyacá	Mina “El Pajonal”	B – 6
Cundinamarca	Mina “El silencio”	C – 16
Cundinamarca	Bagazo de caña de azúcar	B

Tabla 1 Identificación de las muestras

Preparación de las muestras

La preparación de las muestras de carbón se realizó por trituración, molienda y tamizado en una trituradora de mandíbulas Preiser Scientific Inc que lleva hasta un tamaño de partícula de 10 mm y un pulverizador Holmes Bros Technologies localizados en el LICE. El tamizado se realizó usando un agitador automático y la serie de tamices Tyler de mallas 50, 60, 70, 100, 200 de acuerdo con las normas ASTM D 410 y D 43.

El bagazo de caña de azúcar (biomasa) se secó al aire y se sometió a reducción de tamaño en un molino de cuchillas RETSCH SM 100, del laboratorio de productos naturales de la Facultad Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.

Métodos de análisis

El análisis próximo de los carbones y la biomasa se realizó aplicando las normas ASTM D2013, D5142, D3172 y D7582 en un equipo Automatic Multiple Sample Thermogravimetric Analyzer TGA – 2000, NAVAS Instruments. Para la determinación del poder calorífico se emplearon las normas ASTM D2013, D3177 y D5865 en un calorímetro PARR 1261.

Para la determinación del índice de hinchamiento libre, se utilizó la norma ASTM D720.

El análisis elemental (C, N, H, S y O) se determinó acorde con las normas ASTM D3176, D4239, D5016 y D5373 en los equipos LECO Sulfur Determinator SC-132 y el analizador CHN de LECO 600 para los elementos carbono, hidrógeno y nitrógeno. El oxígeno se obtuvo por diferencia como se describe en la norma ASTM D3177.

Los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina se determinaron en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Nacional de Colombia.

Análisis termogravimétrico

El analizador empleado es Mettler Toledo TGA/DSC 1, que opera con un software STAR® versión 11.0, que contiene un controlador de gases GC 200 y un robot para alimentación de muestras disponible en el LICE. Los ensayos se trabajaron con 5 mg de muestra, entre 25 y 1000 °C en aire enriquecido en oxígeno (30%O₂ /70%N₂) en un flujo de 30 ml/min y una velocidad de calentamiento 10°C/min.

RESULTADOS Y DISCUSION

Métodos de análisis

El análisis próximo da información valiosa del comportamiento durante el calentamiento del carbón y la biomasa. Los parámetros que se determinan son: humedad, materia volátil, ceniza y carbono fijo por diferencia que se muestran en la tabla 2.

El contenido de la humedad es fundamental en un combustible porque afecta negativamente los procesos de transporte, molienda y combustión. De la tabla 2. se observa que los materiales tienen contenidos de humedad diferentes destacándose la biomasa y el carbón A-3 con un contenido de humedad relativamente alto. Sin embargo, la biomasa, material con alto contenido de humedad, disminuyó su contenido hasta 6.36% en condiciones de laboratorio.

Muestra	Humedad (%)	CZ (%m, bs)	MM (%m,bs)	MV (%m, slmm)	FC (%m, slmm)	PC BTU/lb (%m, bhmm)
A-10	4.38	5.14	1.65	40.16	59.84	12885
A - 6	3.96	5.74	1.42	37.55	62.45	14311
A - 3	7.19	15.97	17.08	39.83	60.17	13209
B - 6	0.90	4.69	5.93	25.53	74.47	15282
C - 16	0.74	15.04	14.44	20.79	79.21	15833
B	6.36	3.87	4.25	83.80	16.20	6200

Tabla 2. Análisis proximal de combustibles y biomasa. Donde: MV: materia volátil, CZ: Cenizas, CF: Carbón fijo, PC: Poder calorífico, %m: porcentaje en masa, bs: base seca, bsImm: base seca libre de materia mineral, bhImm: base húmeda libre de materia mineral.

El contenido de materia volátil establece las características de combustión cuando se calienta el carbón y la biomasa. Después del secado se inicia la desvolatilización o pirólisis liberándose gases compuestos principalmente de óxidos de carbono, vapor de agua e hidrocarburos ligeros que al encontrar una atmósfera rica en oxígeno reacciona en fase homogénea, siendo un indicador de la reactividad. A partir de los datos de la tabla 2 se infiere que se dispone de materiales con diferente reactividad. Entre los carbones existen diferencias hasta un 100% de materia volátil lo cual será útil para el estudio de su comportamiento en la combustión. El contenido de materia volátil del bagazo es 80.23% y este alto contenido puede ser beneficioso en el proceso de co-combustión contribuyendo a incrementar la velocidad de reacción.

El contenido de cenizas afecta el proceso de combustión, reduciendo la capacidad de liberar energía en el quemado e incrementa la pérdida de carbono y los costos de manipulación del residuo. Además, un alto contenido de cenizas es perjudicial porque no deja que el oxígeno pase a través de esa capa hasta la parte carbonosa que está dentro de la partícula ocasionando inquemados en la ceniza. En este sentido, los materiales B, A-10, A-6 y B-6, tienen el menor contenido de ceniza, en tanto que los carbones A-3 y C-16 tienen un alto contenido.

El carbono fijo junto con la materia volátil representa la parte combustibles del carbón y biomasa, un alto contenido de carbono fijo indica mayor presencia de carbonizado y la combustión de éste es la etapa controlante del proceso. Por lo tanto, los materiales C-16, B-6 podrían mostrar mayor tiempo de reacción.

El poder calorífico representa la energía química almacenada en el material que es liberada en la combustión. Las muestras B-6, C-16, tienen el mayor poder calorífico que corresponde con el mayor contenido de carbono fijo y los más bajos contenidos de materia volátil lo cual puede incidir en el proceso combustión. La biomasa presenta un poder calorífico aceptable a pesar de su bajo contenido de carbono fijo.

Algunos carbones presentan propiedades aglomerantes que no son deseables en el proceso de generación de calor si se utilizan reactores y calderas de lecho fijo o parrillas. Esta propiedad se determina mediante el índice de hinchamiento como se muestra en la tabla 3. Los carbones A-10 y A-3 son no aglomerantes, mientras que A-6, es medianamente aglomerante y los demás son fuertemente aglomerantes.

Procedencia	Muestra	Índice de hinchamiento libre	Clasificación
La Guajira	A – 10	½	No Aglomerante
	A – 6	2½	Medianamente Aglomerante
	A – 3	½	No Aglomerante
Boyacá	B – 6	9	Fuertemente Aglomerante
Cundinamarca	C – 16	9	Fuertemente Aglomerante

Tabla 3. Clasificación de carbones según índice de hinchamiento libre

El análisis elemental proporciona información de los elementos C, H, N, O y S. Los resultados de la tabla 4 indican que el bajo contenido de azufre y nitrógeno (<1%) de las muestras es una ventaja de estos materiales por la baja emisión de NOx y SOx.

Muestra	Carbono (m/m)%	Hidrógeno (m/m)%	Nitrógeno (m/m)%	Azufre (m/m)%	Oxígeno (m/m)%
A – 10	74.70	5.88	2.79	0.45	11.12
A – 6	81.50	5.69	1.43	0.64	10.74
A – 3	64.61	5.09	1.43	0.67	28.20
B – 6	85.37	5.01	1.47	0.55	7.60
C – 16	78.40	4.32	1.67	0.88	14.73
B*	49.27	5.67	0.58	0.13	42.87

Tabla 4 Análisis elemental B: El C, H, N y O por Escalante et al. (2011) y el azufre. Fuente: resultados de LICE

En la Tabla 5 se presenta la composición del bagazo de caña de azúcar, observándose que su contenido de celulosa y hemicelulosa es del 69.5%, mientras que la lignina es del 7.0%.

Componentes	(m/m, bs)%
Celulosa	40.2
Hemicelulosa	29.3
Lignina	7.0
Ceniza	3.0
Proteína cruda	2.1

Tabla 5 Composición del bagazo de caña de azúcar. bs: Base seca, m: masa

Análisis termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico se empleó para caracterizar y observar el comportamiento de combustión de los materiales. Las curvas TGA de la figura 1a muestran la pérdida de masa con respecto al tiempo y, la figura 1b la primera derivada o perfil de combustión. Se observa que el carbón A-3, presenta una mayor pérdida de masa en la etapa de secado atribuible a su alto contenido de humedad; sin embargo, en la etapa final muestra la menor pérdida de masa asociada con su alto contenido de cenizas que puede interferir con el acceso del oxígeno a los sitios activos de la partícula. Por otra parte, las muestra B-6 y C-16, al comienzo muestran una ligera ganancia de masa y luego en la etapa intermedia de pirólisis y/o combustión las curvas están por encima de las otras. La ganancia de masa puede atribuirse a la quimisorción de oxígeno y dado que estos dos carbones son altamente aglomerantes, se funden e hinchan y sus productos de pirólisis se recombinan retardando la combustión.

Para describir el comportamiento de los perfiles de combustión en la figura 2 se definen regiones asociadas con los procesos dominantes y se establecen las temperaturas características para cada región.

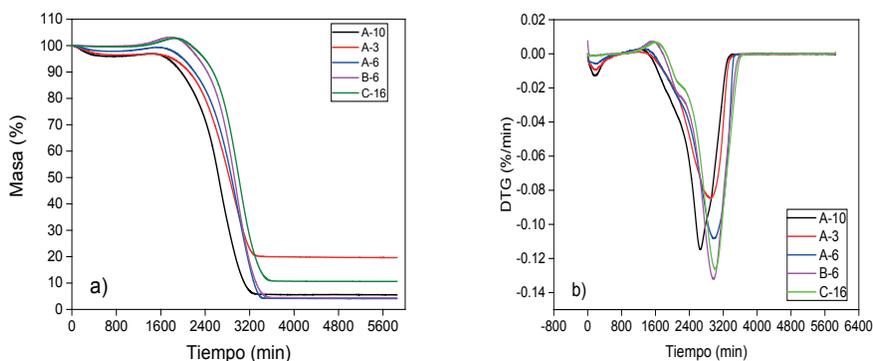


Figura 1: Perfiles de combustión (a) TGA y (b) DTGA para los carbones

El secado es la primera etapa del proceso de combustión que se manifiesta por el primer pico en el perfil de combustión y finaliza a temperatura final de secado (T_f). La adsorción del oxígeno es la segunda etapa donde se observa una ligera ganancia de masa hasta una temperatura T_{fa}, que para esta investigación es aproximadamente 280°C; en esta zona se presentan los fenómenos de adsorción física y quimisorción.

Alrededor de esta temperatura, empiezan las reacciones de pirólisis o desvolatilización, observándose una pérdida de masa ocasionada por el desprendimiento de una cierta cantidad de volátiles que salen de la partícula, evidenciándose una mayor velocidad en los carbones no aglomerantes o medianamente aglomerantes que en los

aglomerantes B-6 y C-16. Los volátiles liberados se encuentran con una atmósfera rica en oxígeno reaccionando rápidamente en fase homogénea a la T_{fv} , liberando la energía que se retroalimenta a la partícula iniciando la combustión hasta alcanzar la temperatura (T_m) donde se desarrolla la velocidad máxima de quemado. El proceso continúa con la combustión del carbonizado o char, y la transformación de la materia mineral en óxidos o cenizas hasta la temperatura final (T_{fc}) o temperatura en la cual no se presenta cambio de masa.

La figura 3 muestra las regiones y temperaturas características para el bagazo de la caña de azúcar. En la curva de pérdida de masa se observan varios cambios de pendiente asociados con la pirólisis o desvolutización de biomasa, combustión de estos volátiles y combustión del residuo carbonoso que se detallan mejor en el perfil de combustión.

En el perfil de combustión del bagazo, la primera zona corresponde al secado con T_{fs} de 99°C. La segunda zona o de adsorción de oxígeno está solapada con el inicio del proceso de pirólisis, por el rompimiento de los enlaces más débiles presentes en la hemicelulosa y luego con la celulosa que aporta la mayor parte de la materia volátil y finalmente la lignina que es el componente más estable (Ru, et al., 1996) (Lo, et al., 2010). Sin embargo, por la presencia de oxígeno estos volátiles son muy reactivos facilitando la combustión que se observa por la altura del pico y el ancho de la banda. Finalmente, se observa una región con un pico alrededor de 441°C, que representa la combustión del carbonizado o char.

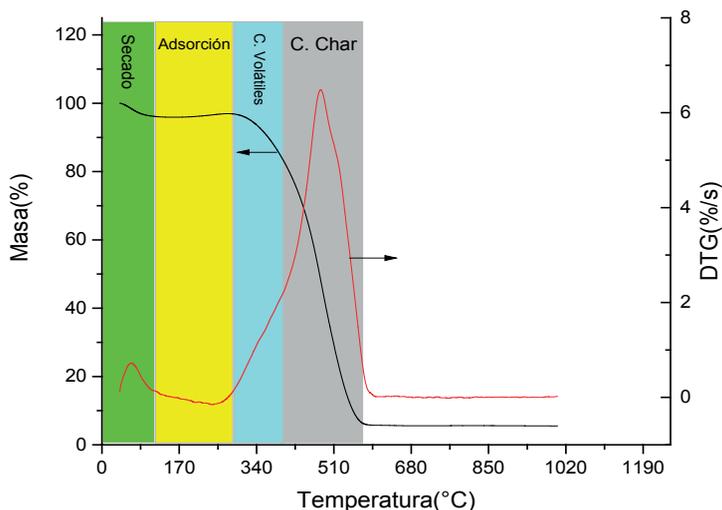


Figura 2. Regiones del perfil de combustión para el carbón A - 10

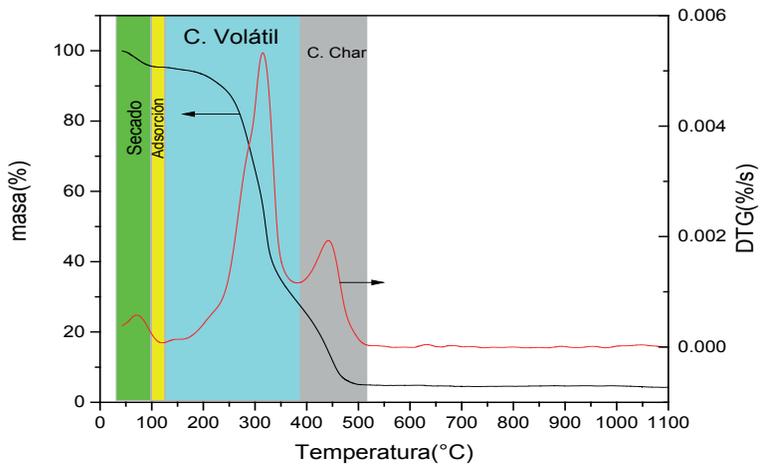


Figura 3. Regiones del perfil de combustión del bagazo

En la tabla 6 se muestran las temperaturas características de cada una de las regiones del perfil de combustión y la velocidad máxima de combustión. Las temperaturas de secado T_{fs} , varían entre 99°C para el bagazo y 120°C para el carbón A-6. En la zona de adsorción de oxígeno se observa un incremento de la T_{fd} a media que aumenta el contenido de carbono fijo que puede relacionarse con una estructura aromática más organizada con menor disponibilidad de sitios de adsorción o de anclaje de la especie reactiva.

En la región de desvolatilización no se observa una tendencia clara para las T_{fv} , lo cual puede atribuirse a una serie de reacciones paralelas y consecutivas que involucran a los radicales libres y especies reactivas producto del rompimiento térmico de los componentes del material. Estas reacciones pueden ser de combustión, condensación y/o polimerización. La temperatura característica de combustión del char aumenta con el contenido de carbono fijo indicando que esta es la etapa controlante del proceso de combustión.

En el perfil de combustión, el pico principal o máximo es representativo del proceso global de la combustión y la temperatura asociada con el máximo de este pico, T_m , puede relacionarse con la velocidad máxima de combustión que es una medida de la reactividad o combustibilidad; cuanto más baja es T_m más reactivo es el material. De esta manera, el bagazo y los carbones con alto contenido de materia volátil son los más reactivos (B, A-10, A-6 y A-3) en tanto que, los carbones con mayor contenido de carbono fijo y fuertemente aglomerantes son los más difíciles de quemar (B-6 y C-16).

De acuerdo con los resultados del análisis termogravimétrico puede inferirse que usar o adicionar el bagazo al carbón o mezclas de carbones podría contribuir a mejorar la combustibilidad. Los carbones que mejor se comportan en el proceso de combustión son aquellos que contienen alto contenido de materia volátil, bajo contenido de cenizas y que

no tengan propiedades aglomerantes. De esta manera, para continuar con el estudio de co-combustión de carbón/biomasa, se selecciona el carbón A-10 en mezclas de diferentes proporciones.

Muestra	Región Secado (T_{fs} °C)	Región Adsorción (T_{fa} °C)	Pirólisis/Combustión		Pico principal	
			Región desvolatilización (T_{fv} °C)	Región combustión Char (T_{fc} °C)	$-(dm/dt)_{m\acute{a}x}$ (%/s)	T_m (°C)
A – 10	105.81	240.35	424.19	601.21	0.114	481.00
A- 6	120.13	256.01	433.35	629.97	0.108	533.36
A- 3	111.69	237.01	395.23	627.19	0.084	519.98
B -6	103.12	298.52	399.20	646.67	0.131	530.54
C-16	111.35	306.96	396.39	643.07	0.126	536.94
B	99.14	133.57	376.64	513.81	0.002	441.15

Tabla 6 Temperaturas características y velocidad máxima de quemado

CONCLUSIONES

El estudio termogravimétrico de las muestras evaluadas concluyó que la muestra A-10, proveniente de La Guajira es el carbón más apropiado y de mejor comportamiento ya que presenta las mejores condiciones fisicoquímicas para el proceso de combustión.

En el análisis efectuado se establecieron cuatro regiones asociadas con eventos principales tales como secado, adsorción de oxígeno, combustión de volátiles y combustión del carbonizado en condiciones no isotérmicas, relacionadas al co-procesamiento de los carbones y biomasa

Se estableció también que, tanto para el carbón como para el bagazo, la velocidad de calentamiento, la concentración de oxígeno y el tamaño de partícula inciden sobre los parámetros característicos de la combustión, E_a , T_m y R_m . por otro lado, para el caso del carbón la etapa controlante del proceso es la combustión del carbonizado, mientras que, para el bagazo la etapa controlante es la desvolatilización.

Con estos resultados se demuestra que a través del análisis termogravimétrico puede describirse de manera sistemática el comportamiento de la co-combustión de carbón y bagazo encontrando que la adición del bagazo (residuo renovable) mejora la ignición del carbón, con lo cual contribuye a la disminución de costos relacionados con el proceso de generación de calor.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Investigación en Combustibles y Energía (LICE), de la Universidad Nacional de Colombia, por el apoyo en la realización de los análisis y la disponibilidad de todos los equipos utilizados en la presente investigación.

REFERENCIAS

- Barrera, Julián Esteban, et al. Estudio de la degradación térmica de poli (alcohol vinílico) mediante termogravimetría y termogravimetría diferencial. *Ingeniería e investigación*, vol. 27, no 2, p. 100-105. 2007
- De Diego, L. F.; García, F.; Abad, A. and Gaya, P. "Modeling of the Devolatilization of Nonspherical Wet Pine Wood Particles in Fluidized Beds," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 41, pp. 3642–3650, 2002.
- Díaz Barreto, A. F., et al. Modelo de co-combustión con biomasa y carbón en una cámara de combustión dual. 2012.
- Essenhig, R.H., "Coal conversion Technology." Addison-Wesley Publishing Company, p. Cap. 3, 1979.
- Essenhig R. H., "Alternate Coal Conversion Technologies," The Ohio State University, 1979.
- Gani, A.; Morishita, K.; Nishikawa, K.; and Naruse, I. "Characteristics of co-combustion of low-rank coal with biomass," *Energy and Fuels*, vol. 19, no. 4, pp. 1652–1659, 2005.
- Gatternig, B. and Karl, J. "Investigations on the Mechanisms of Ash-Induced Agglomeration in Fluidized-Bed Combustion of Biomass," *Energy & Fuels*, vol. 29, pp. 931–941, 2015.
- J. D. J. D. V. Ariel Oswaldo Cadena Sanchez, Laura Rosa Conde Rivera, "Análisis petrográfico de carbones colombianos mediante análisis de imágenes." 2011
- Jiang, G. and Sanxia, X. "Chemical reaction kinetics of coal combustion investigated by thermogravimetric analysis," vol. 6, no. 7, pp. 2450–2455, 2014.
- Manuel, J. and Burgos, B. "Caracterización morfológica del carbonizado de carbones pulverizados : determinación experimental Char morphology characterization from pulverized coals : experimental determination," 2008.
- Nussbaumer, T. "Combustion and Co-combustion of Biomass : Fundamentals , Technologies , and Primary Measures for Emission Reduction †," pp. 1510–1521, 2003.
- Lo, K.-C.; Wu, K.-T., Chyang, C.-S. and Su, K.-C. "Modeling the Woody Biomass Combustion in a Vortexing Fluidized-Bed Combustor," *Energy & Fuels*, vol. 24, no. 2, pp. 1316–1322, 2010.
- Porteiro, J.; Patiño, D.; Miguez, J. L.; Granada, E.; Moran, J. and Collazo, J. "Study of the reaction front thickness in a counter-current fixed-bed combustor of a pelletised biomass," *Combust. Flame*, vol. 159, no. 3, pp. 1296–1302, 2012.
- Ru, H.; Kicherer, A.; Greul, U.; Spliethoff, H., and Hein, K. R. G. "Investigations in Combined Combustion of Biomass and Coal in Power Plant Technology," *Energy & Fuels*, pp. 789–796, 1996.

Scala, F.; Chirone, R. and Salatino, P. "Combustion and attrition of biomass chars in a fluidized bed," *Energy and Fuels*, vol. 20, no. 1, pp. 91–102, 2006.

Sis, H. "Evaluation of combustion characteristics of different size elbistan lignite by using TG / DTG and DTA," vol. 88, pp. 863–870, 2007.

Smith I.W., "19th Symp. on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburg PA." 1982.

Unidad de Planeación Minero Energética, "Boletín Estadístico de minas y energía." Colombia, p. 235, 2015.

Zhang, D.; F, T. W. and Tate, Anthony G. "The reactivity of pulverized coal char particles : experiments using ignition, burnout and DTG techniques and partly burnt chars," *Fuel*, vol. 71, no. 4, pp. 1247–1253, 1992.

Zhao, K.; Glarborg, P.; and Jensen, A. D. "NO reduction over biomass and coal char during simultaneous combustion," *Energy and Fuels*, vol. 27, no. 12, pp. 7817–7826, 2013.

O ENSINO *ONLINE* E AS CARACTERÍSTICAS DE UMA CIDADE INTELIGENTE

Data de aceite: 01/03/2024

Cristina Dias

Departamento de Tecnologias
Instituto Politécnico de Portalegre
Campus Politécnico, Portalegre, Portugal

Carla Santos

Departamento de Matemática e Ciências
Físicas
Instituto Politécnico de Beja
Campus IPBeja - Beja

RESUMO: O ensino a distância é hoje amplamente usado e está implementado em muitas instituições educacionais, tornando-se num método essencial. O objetivo principal desta investigação foi o de estudar o impacto do ensino a distância e qual o seu impacto no desempenho académico dos estudantes. Os resultados revelaram que a taxa de aprovação, foi superior no grupo cujo processo de ensino aprendizagem decorreu totalmente *online*. Além disso os resultados mostram que a média de satisfação geral dos estudantes com as aulas presenciais (ensino tradicional), foi de 14,72, enquanto que no grupo (aulas *online*) a média de satisfação geral foi de 16,64. A diferença de atitudes dos alunos foi significativa no grupo que teve aulas e

avaliação *online*. Este trabalho pretende ainda aliar o ensino online às características de uma cidade inteligente.

PALAVRAS-CHAVE: Professores, Ensino a distância, aprendizagem, Avaliação.

INTRODUÇÃO

Com a proliferação do ensino a distância por meio de cursos *online*, aulas *online*, *webinars*, entre outros, o processo educativo, sofreu alterações, e muitas vezes o papel dos professores enquanto educadores, confundiu-se com o papel de um instrutor *online*, [1].

A partir desta dinâmica, os estudantes conseguem perceber que, apesar da aprendizagem *online* ser semelhante à presencial, não é a mesma coisa. O processo educativo *online*, exige novas habilidades e estratégias, para que seja um processo eficaz. Este estudo tem por objetivo efetuar uma abordagem empírica do processo educativo online, com base nas experiências e expectativas dos estudantes que se submeteram a este tipo de aprendizagens. Este trabalho

pretende ainda fazer uma abordagem de educação a distância inteligente numa cidade inteligente (smart city). As cidades inteligentes integram redes inteligentes de serviços, saúde, administração e edifícios inteligentes, etc. O objetivo será adicionar o ensino online às características de uma cidade inteligente.

EDUCAÇÃO ONLINE

A educação *online* é reconhecida, como sendo particularmente adequada para estudantes em fase adulta, uma vez que oferece a possibilidade de acontecer em qualquer lugar e a qualquer hora. A exploração do papel do “professor *online*” está devidamente fundamentada na literatura no que concerne ao processo de ensino/ aprendizagem de adultos a distância. Esta investigação tem isso em consideração, e explora a perspectiva de como o processo educativo e o papel do professor é desenvolvido a um ritmo diferente, com abordagens de ensino e aprendizagem, também diferentes. Essa diferença resulta do ambiente inteiramente *online* ajudar a desenvolver novas habilidades e dinâmicas que influenciam o processo de ensino aprendizagem que o diferenciam do processo tradicional.

A educação voltada para adultos (andragogia), pressupõe que os adultos tendem a ser responsáveis, práticos e sociais, contribuindo com as suas experiências variadas para o processo de aprendizagem. Estes estudantes adultos, apresentam diferentes níveis de autonomia, em situações diversas [2], exigindo diferentes tipos de intervenção dos professores em diferentes fases do processo de aprendizagem. Assim, [3] descreve a importância da aprendizagem social e a validade da aprendizagem por observação. Já [4], sugere que os ambientes de aprendizagem devem basear-se em experiências anteriores, as quais ajudam a promover a participação ativa promovendo a aprendizagem colaborativa, e devem fornecer aplicações reais e transferíveis. Existe a necessidade cada vez maior de o professor adotar funções flexíveis em resposta às necessidades dos estudantes adultos.

Segundo [5], a discussão sobre o papel do “professor *online*” na aprendizagem de adultos é guiada por uma perspectiva construtivista, onde os estudantes adultos, criam seu próprio conhecimento, o qual é centrado no aluno e não no professor.

Em Portugal, o ensino *online* ainda não é comum em todo o ensino superior. Hoje, devido à pandemia o país viu-se forçado a recorrer a este tipo de ensino, ainda que de forma diferenciada entre universidades, institutos politécnicos, e ensino regular. No ensino superior, apesar de este tipo de ensino não ser inédito, ainda não está democratizado, não existindo, ainda, a possibilidade de escolha, entre todas as instituições, uma vez que, ainda não são todas as que oferecem uma formação *online* e presencial. No entanto, agora, mais que antes, vivemos uma época em que somos obrigados a estar aptos para a educação a distância. Segundo [6] a educação a distância, deve ter por base a eficácia, o ser propositada, estruturada e ter ritmo próprio.

OBJETIVOS, ESTRUTURA E RITMO

O ritmo é fundamental no ensino à distância. Sem a disciplina imposta por um cronograma de eventos, os alunos podem-se desviar, ficar seriamente atrás do cronograma de aprendizagem recomendado e, sem perceberem uma necessidade realmente urgente de continuar. Existe assim a necessidade premente de existir alguma forma de avaliação, sem esquecer que uma das principais técnicas para acompanhar os alunos são os - prazos! Os prazos de avaliação podem e devem ser publicados num calendário de orientação dos estudos [6].

A interação, entre estudantes e entre estudantes e “professor *online*” deve ser conseguida por forma a garantir que os estudantes mantenham um ritmo de aprendizagem apropriado. A intervenção criteriosa dos professores pode ajudar a motivar e encorajar os estudantes a continuar [5].

Para se aprender, em qualquer contexto, é necessário existir um objetivo e um sentido para a aprendizagem. As perguntas: “Quando terminar o meu curso, o que serei capaz de fazer?”. “O que espero deste curso?”. São perguntas que os estudantes fazem e que necessitam de respostas, pelo que, os objetivos do curso devem ser claros e atraentes e devem fazer sentido no processo de aprendizagem dos estudantes. A forma como o curso está estruturado deve ser clara e atraente, sendo de suma importância para manter o interesse do estudante, uma vez que, o ensino a distância pode ser muito solitário, fazendo com que os estudantes se sintam extremamente isolados, não havendo a sensação de controle, o que pode levar à perda de autoconfiança [3].

Objetivo, estrutura e ritmo são todos aspetos essenciais da oferta formativa de ensino a distância, que terão um valor limitado, apenas no caso de, o estudante não estar envolvido na experiência de aprendizagem. Ao contrário dos estudantes que têm aulas presenciais, neste processo, nada impede que o estudante se levante e se afaste quando perde o interesse. Portanto, deve ser feito um esforço, sério, para desenvolver maneiras de envolver e motivar os estudantes [2].

O ENSINO SUPERIOR

O sistema de ensino superior (ES) português, a partir de 2006, sofreu alterações profundas, tendo alargado a sua oferta formativa. As licenciaturas, em termos gerais, registaram um aumento significativo quanto ao número de estudantes inscritos. Este aumento deve-se em grande parte aos estudantes que entraram pelo regime de maiores de 23 (M23), por via de Cursos Técnicos Superiores Especializados (TeSP), os vindos de sistemas estrangeiros em mobilidade e os estudantes provenientes dos PALOP e ainda adultos que frequentam o regime pós-laboral. Hoje, cada vez mais, existe a necessidade de se fazerem atualizações nos percursos profissionais. A aprendizagem ao longo da vida

parece ser a chave para garantir a força de trabalho futura e a competitividade nacional e europeia [7-8].

Com o alargamento da escolaridade obrigatória, até ao 12º ano, espera-se que os jovens continuem o seu percurso académico, isto é, que passem do ensino secundário para o ensino superior, por forma a licenciarem-se e trabalharem numa área especializada. Assim, a empregabilidade e os motivos económicos, estão cada vez mais na mira das universidades. A formação de mão de obra especializada, para um mercado de trabalho competitivo é cada vez mais o seu papel [9-10].

As reformas do ensino superior, visam colocar as universidades num ambiente internacional, onde as prioridades são desenvolver investigação de alto nível e garantir qualidade do processo ensino aprendizagem. A realidade está ainda distante destas metas, uma vez que, os docentes e investigadores estão cada vez mais pressionados por responsabilidades burocráticas e cargos de gestão, diminuindo a sua liberdade e autonomia [11].

O “professor *online*” deve ser capaz de estruturar os materiais de apoio à aprendizagem, de uma forma eficaz, podendo utilizar uma variedade de técnicas baseadas nas TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação), assim como incluir na sua prática aprendizagens baseadas em problemas [12]. As formas de ensino não tradicionais, sejam elas baseadas nas TIC ou impressas, devem envolver e comprometer os estudantes em termos de tempo, fazer para aprender, dado que a aprendizagem eficaz envolve fazer coisas. Os estudantes precisam ser orientados quando estão a realizar uma tarefa, o papel do “professor *online*” é conduzi-los em direção às fontes de informação de que precisam para concluir a tarefa. Desta forma os estudantes, estão a promover a sua autoaprendizagem, atingindo um nível significativamente mais alto de sofisticação [13].

EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA E CIDADES INTELIGENTES

A inteligência de uma cidade é dada pelas tecnologias que ela utiliza e, mais do que isso, pelas pessoas capacitadas para usarem tais tecnologias [14-15]. As pessoas podem ser educadas para serem capacitadas a utilizar as ditas tecnologias inteligentes, deste ponto de vista as cidades podem ser um veículo para a educação e podem elas próprias fazer parte do processo de aprendizagem. Portanto, embora as soluções de sustentabilidade e tecnologia para cidades inteligentes sejam alguns dos seus desafios estratégicos, certamente que a educação e o ensino a distância também o serão. Neste campo, a Web oferece muitas oportunidades, como as plataformas de *e-learning* onde os alunos podem aprender, de acordo com as suas necessidades e ritmo [16]. Os cursos massivos online, são plataformas particulares de ensino a distância, geralmente oferecendo, até, cursos gratuitos sobre uma grande quantidade de temas, e que se caracterizam por um número elevado de inscrições [17]. Num curso destes o professor, ou tutor, tem uma vida difícil ao tentar

acompanhar e gerenciar os processos de aprendizagem de milhares de estudantes. Em particular, a avaliação pode ser gerida, quase exclusivamente, permitindo que o estudante responda a perguntas em testes de respostas fechadas. Esta estratégia tem alguns limites didáticos, enquanto que, outra alternativa válida, será a de usar a avaliação por pares [18]. Na avaliação por pares os estudantes avaliam as respostas de seus colegas, desta forma, acaba por ser um processo mais vantajoso, pois, oferece a possibilidade aos estudantes de aperfeiçoarem o seu próprio conhecimento sobre determinado assunto e, ao mesmo tempo contribui para ajudar a desenvolver as suas habilidades metacognitivas e torná-los cidadãos conscientes [19].

Formar Cidadãos conscientes é também o papel das instituições de ensino, as quais podem ter uma importância significativa, nas cidades onde estão inseridas, muitas destas ditas cidades inteligentes. Esta combinação pode culminar na transformação das cidades em locais organizados e assim, criarem uma relação harmônica entre cidadãos, cidades e tecnologia. Assim, cada vez mais, é necessário o desenvolvimento de uma educação para as cidades inteligentes. Essa educação, que pode também ser a distância, deve permitir a integração das novas tecnologias e também introduzir nos currículos dos cursos, conteúdos que relevem a cultura empreendedora do ensino, focada no indivíduo e na sua capacidade de promover mudanças que gerem desenvolvimento econômico e social. Por outro lado, as instituições de ensino devem possibilitar espaços educacionais nas cidades, que promovam a integração de metodologias ativas, tecnologias digitais, redes de acesso à internet, aprendizagem e sustentabilidade.

O ESTUDO

O presente estudo apresenta resultados significantes. Por exemplo, os resultados do estudo fornecem uma visão geral do processo de aprendizagem *online*, focando-se nos aspetos, atitudes e desempenho acadêmico, a fim de fornecer informações essenciais para futuras investigações em áreas semelhantes.

A AMOSTRA

A população de estudo para este estudo foram os alunos do primeiro ano da licenciatura em Tecnologia de Produção de Biocombustíveis (TPB), numa instituição de ensino superior português. Trata-se de uma turma de vinte estudantes PALOP (Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa).

O MÉTODO

Foi utilizada uma abordagem de investigação de métodos mistos, para um conjunto de dados institucionais agregados e anónimos numa análise de natureza predominantemente qualitativa e um modelo multidimensional que integrou variáveis do aluno, professor e contexto académico. A situação em observação tem ainda, como objetivo efetuar uma abordagem empírica do processo educativo online, com base nas experiências e expectativas dos alunos que se submeteram a este tipo de aprendizagens.

A AMOSTRA

Um total de 20 alunos foram divididos em dois grupos de 10 cada, o primeiro grupo teve aulas totalmente *online* e o segundo teve aulas exclusivamente presenciais, isto é, de forma tradicional. Por forma a que os objetivos de ensino aprendizagem se mantivessem os mesmos para os dois grupos, o programa curricular e o método de avaliação foram os mesmos. Ambos os grupos, tiveram a mesma oportunidade de contacto com o coordenador de curso e com o docente da unidade curricular, para qualquer tipo de esclarecimento relacionado com o funcionamento da unidade curricular.

INSTRUMENTOS DE RECOLHA DE DADOS

Foram usados dois instrumentos para recolha dos dados: (i) notas dos estudantes obtidas no teste de avaliação dos conteúdos ministrados na unidade curricular, efetuado no mesmo dia á mesma hora; (ii) resultados da avaliação das fichas práticas, as quais tinham um peso de 20% para a avaliação final. Os testes foram elaborados, tendo em conta os objetivos definidos na avaliação de cada pergunta. Foram constituídos por itens abertos, semi-abertos e de escolha múltipla.

RESULTADOS

O total de estudantes no estudo foram 20. As idades dos participantes variam de 18 a 24 anos (média de 20.68 e desvio padrão de 0,62). Através da análise dos resultados obtidos no teste e nas fichas de avaliação, conclui-se que os estudantes que foram avaliados segundo a forma tradicional, obtiveram uma taxa de aprovação inferior à taxa de aprovação dos alunos que tiveram aulas *online*. A taxa de aprovação na turma de ensino tradicional foi de 76%, enquanto que os alunos que tiveram aulas e fizeram avaliação *online*, foi de 95%.

Esta experiência decorreu no ano de 2019/2020, pelo que para ser consolidada necessita ser repetida no próximo ano e em outras turmas, onde esta unidade curricular também é administrada.

CONCLUSÕES

Os alunos pertencentes ao segundo grupo (aulas *online*), mantiveram-se assíduos durante todo o semestre, enquanto os alunos do primeiro grupo (aulas presenciais, ensino tradicional), a partir da metade do semestre começaram a faltar a algumas aulas. Os alunos do segundo grupo, afirmaram que pelo facto de estarem num ambiente mais familiar, os ajudou a ter uma maior concentração, no entanto sentiram falta da parte social, isto é, sentiram-se mais isolados socialmente. Quando questionados sobre se gostariam de se manter no mesmo grupo, responderam que preferiam estar na sala com os restantes colegas.

Na perspetiva da aprendizagem ao longo da vida e da sociedade da aprendizagem, verifica-se alguma relação entre, neste caso concreto, ambientes de aprendizagem *online* e ambientes de aprendizagem presencial. O potencial das cidades inteligentes aliado à aprendizagem ao longo da vida, quer seja feita online ou presencialmente, parecem ajudar na expansão das escolas tornando-as um espaço mais amplo e democrático. A escola, família e comunidade local, bem como outros ambientes podem ser considerados ambientes de aprendizagem típicos nas cidades inteligentes que investem em meios de aprendizagem diversificados. Segundo os estudantes que fizeram parte deste estudo, o ambiente familiar, tem um peso significativo nas suas aprendizagens, verificando-se que a família está fortemente relacionada com os ambientes de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

B., P., Heuer & K., P., King, "Leading the Band: The Role of the Instructor in Online Learning for Educators". *The Journal of Interactive Online Learning*, 3(1), pp. 1-10, 2004.

G. Grow, "Teaching learners to be self-directed: A stage approach". *Adult Education Quarterly*, 41(3), pp. 125-149, 1996.

A. Bandura, "Social foundations of thought and action: A social cognitive theory". Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996.

P. Lawler, & K. P. King, "Planning for effective faculty development: Using adult learning strategies". Malabar, FL: Krieger, 2000.

R. Palloff, & K. Pratt, "Building learning communities in cyberspace: Effective strategies for the online classroom". San Francisco, CA: Jossey-Bass, 1999.

M. Edean, "Learning Materials at a Distance". UK Centre for Materials Education, 2003. Disponível em: <http://www.materials.ac.uk/guides/distance.asp>

C. Latchem, "Non-formal learning and non-formal education for development". *Journal of Learning for Development*, 1(1), 2014. Disponível em <http://www.jl4d.info/index.php/ejl4d/article/view/6/6>

- C. Medel-Añonuevo, "Integrating lifelong learning perspectives". Paris: UNESCO, 2002. Disponível em <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001264/126485e.pdf>.
- J. Stiglitz, & B. Greenwald, "Cresting a learning society: A new approach to growth, development and social progress". Columbia University Press, 2014.
- United Nations, "Global sustainable development report; 2015th edition". Advance unedited version, 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1758GSDR%202015%20Advance%20Unedited%20Version.pdf>
- K. Tapanila, P. Siivonen, P., & K. Filander, (2020), "Academics social positioning towards the restructured management system in Finnish universities". *Studies in Higher Education*, 45(1), pp. 117–128, 2020. <https://doi.org/10.1080/03075079.2018.1539957>
- Rowntree, D., "Preparing materials for open, distance and flexible learning: an action guide for teachers and trainers". London, Kogan Page, 1994.
- D. Laurillard, "Rethinking University Teaching: a framework for the effective use of educational technology". (2nd edition) London, RoutledgeFalmer, 2002.
- M. Lytras, A. Visvizi, "Who uses smart city services and what to make of it", toward interdisciplinary smart cities research. *Sustainability* 10, pp.1998–2013, 2018.
- S. J. Russell, P. Norvig, "Artificial Intelligence A Modern Approach". Pearson Education, Inc.: Upper Saddle River, NJ, USA, 2010.
- M. Cunha, E. Przeybilovicz, J. Macaya, & F. Burgos, "Smart City: transformação digital de cidades". São Paulo, Programa Gestão Pública e Cidadania, 2016.
- Onah D, Sinclair J, Boyatt R, J. Foss, "Massive open online courses: learner participation". In: *Proceeding of the 7th international conference of education, research and innovation*, pp. 2348–2356, 2014.
- Rosé, C.P., Ferschke, O., "Technology Support for Discussion Based Learning: From Computer Supported Collaborative Learning to the Future of Massive Open Online Courses". *Int J Artif Intell Educ* 26, pp.660–678, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0107-y>.
- B. Cohen, "The 3 generations of Smart Cities: inside the development of the technology driven city". 2015. Recuperado em 10 setembro de 2020, de <https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities>
- Olmos-Gómez, M.C.; Luque-Suárez, M.; Mohamed-Mohamed, S.; Cuevas-Rincón, J.M. Validation of the Smart City as a Sustainable Development Knowledge Tool: The Challenge of Using Technologies in Education during COVID-19. *Sustainability* **2020**, *12*, 8384.

DETERMINACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE CAL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL

Data de aceite: 01/03/2024

Godofredo Huanca Chambi

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0107-8056>

José Luis Pineda Tapia

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0000-0001-9498-1169>

Milton Quispe Tisnado

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0009-0001-7744-5935>

Diego Wilman de la Cruz Paredes

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0000-0001-8624-453X>

Lisbeth Carina Coaquira Huacani

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0009-0008-4247-3099>

Mario Jozef Cutimbo Quispe

Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ingeniería de procesos industriales, Juliaca – Perú
<https://orcid.org/0009-0000-1291-9709>

RESUMEN: Para la implementación de un sistema de gestión ambiental dentro de una organización es necesario tener como base y como punto de partida la identificación y evaluación de aspectos ambientales asimismo determinar su significancia, para lo cual se plantea la identificación de los aspectos ambientales de la planta procesadora de cal, Cesur una empresa que funciona en la ciudad de Juliaca, identificándose un total de 12 aspectos ambientales relacionados fundamentalmente con la generación de emisiones furtivas, emisiones a la atmósfera, generación de ruido y generación de residuos sólidos, considerándose un total de 05 procesos unitarios. Se determina como aspecto ambiental significativo a las Emisiones Furtivas y emisiones a la atmósfera para todos los procesos y Generación de Ruido únicamente para el proceso de funcionamiento de zarandas. Se consideran como escenarios de riesgo el aspecto ambiental significativo, es decir, Emisiones Furtivas para todos los procesos y Generación de Ruido únicamente para el proceso de funcionamiento de zarandas; Las Emisiones Furtivas, tanto para el entorno natural como para el entorno humano representan un riesgo alto, en cambio en el

entorno socioeconómico los dos escenarios representan un riesgo medio, posteriormente se formula una estrategia de manejo ambiental sobre todo para aquellos aspectos ambientales que dieron como significativos, lo que permitirá a la organización tener un mayor control operacional.

PALABRAS-CLAVE: Aspectos ambientales, sistema de gestión ambiental, generación de emisiones furtivas y ruido, planta procesadora de cal, riesgos ambientales.

DETERMINATION OF SIGNIFICANT ENVIRONMENTAL ASPECTS IN A LIME PRODUCTIVE PROCESS AND PROPOSAL FOR CONTROL MEASURES

ABSTRACT: For the implementation of an environmental management system within an organization, it is necessary to have as a basis and starting point the identification and evaluation of environmental aspects and to determine their significance, for which the identification of the environmental aspects of the processing plant is proposed. of lime, Cesur, a company that operates in the city of Juliaca, identifying a total of 12 environmental aspects fundamentally related to the generation of furtive emissions, emissions to the atmosphere, noise generation and generation of solid waste, considering a total of 05 processes. unitary. Furtive Emissions and emissions to the atmosphere for all processes and Noise Generation only for the screen operation process are determined as a significant environmental aspect. The significant environmental aspect is considered as risk scenarios, that is, Furtive Emissions for all processes and Noise Generation only for the screen operation process; Furtive Emissions, both for the natural environment and for the human environment, represent a high risk; however, in the socioeconomic environment, the two scenarios represent a medium risk. Subsequently, an environmental management strategy is formulated, especially for those environmental aspects that resulted in significant, which will allow the organization to have greater operational control.

KEYWORDS: Environmental aspects, environmental management system, generation of stealth emissions and noise, lime processing plant, environmental risks.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, muchas de las empresas productoras y de servicios comienzan a tener más énfasis en la implementación de sistemas de gestión, las cuales se enfocan en la mejora continua de sus procesos para lograr mantener una alta credibilidad y confianza entre sus clientes, logrando sobresalir entre el fuerte mercado competitivo ya sea nacional o internacional. En una empresa productora de cal, la gerencia pone más énfasis a los asuntos de seguridad y calidad de sus servicios, no obstante la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001: 2015 deberá de formar parte del sistema general de gestión el cual comprenderá una estructura organizativa, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para elaborar, aplicar, revisar y mantener la política ambiental de la empresa, ya que toda empresa en su función o actividad, tiene una repercusión ambiental, por ello será necesario que se asuma dicha responsabilidad. El punto de partida en este proceso corresponde a la determinación de los aspectos

ambientales significativos, que como indica la norma ISO 14001:2015, debe ser usado como base en todo el proceso de planificación e implementación del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cesur es una empresa del sector industrial del ramo de procesamiento de cal que se ubica en la ciudad de Juliaca; cuenta con una línea de producción que contempla transporte y molienda de petcoke y/o carbón, recepción, almacenamiento y transporte de piedra caliza, proceso de calcinación de la cal, transporte y almacenamiento de la cal provisión de combustible para calcinación, proceso de calcinación de la cal y despacho de la cal. En el proceso de evaluación de aspectos ambientales se consideran dos fases generales, las cuales corresponden a la identificación de los aspectos ambientales; y la evaluación de riesgos ambientales de los aspectos ambientales significativos.

Evaluación de los Aspectos Ambientales

Se toma como referencia la metodología del Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML, 2007). Se identifican aspectos ambientales de cada proceso, utilizando la siguiente metodología:

ENTRADA: Considerando todos los insumos que ingresan en el proceso, incluyendo todo tipo de materiales, energías, materias primas, repuestos, entre otros.

SALIDA: Considerando los productos resultantes para los cuales se estableció el proceso.

RESIDUOS: Estableciendo los residuos generados del material de entrada y la generación del producto deseado (Considerando: piezas desgastadas, ruido, calor, vapores, vibraciones, residuos sólidos, material de limpieza en desuso, agua contaminada, aire contaminado, aceites y grasas en desuso, entre otros).

Para ellos se usaron el siguiente Diagramas de Análisis del Proceso de aspectos ambientales

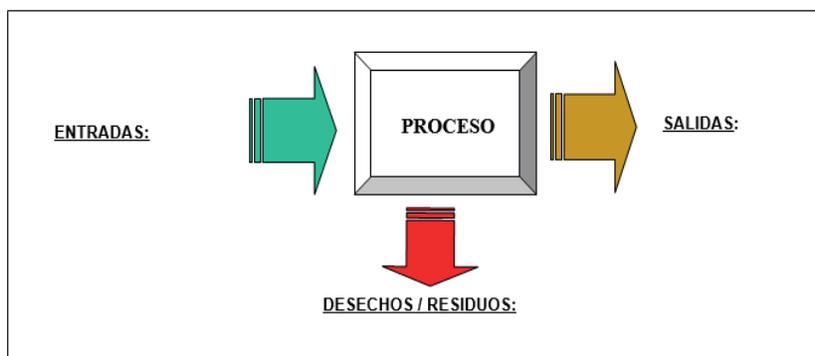


Figura 1. Diagramas de Análisis del Proceso de aspectos ambientales

Luego de elaborar el Diagrama de Análisis de Proceso se realizará la identificación de los aspectos e impactos ambientales que se generan en el proceso teniendo en cuenta la relación de causa efecto Loustaunau, M. (2014). En la Tabla 1 se completará las columnas correspondientes.

Cesur	FICHA DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES					N°00X
PROCESO / ACTIVIDAD:			RESPONSABLE DEL PROCESO:			
N°	ASPÉCTOS AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	SEVERIDAD	FRECUENCIA	VALORACIÓN	CLASIFICACIÓN
1			-			
2						
3						
4						
5						

Tabla 1. Ficha de Evaluación de Aspectos Ambientales

Evaluación de significancia

La evaluación de la significancia se realiza tomando criterios ambientales principalmente alcance, severidad, duración del impacto, tamaño y frecuencia de un aspecto ambiental (Chauvet, Alves y Belló, 2012) , a continuación, se plantea la siguiente metodología:

a. Evaluación de la Severidad

Se evalúa la severidad de acuerdo a la tabla de Evaluación de Severidad (ver Tabla 2) donde se califica a cada Aspecto Ambiental como: **Bajo, Moderado o Alto** según los criterios de significancia establecidos en dicha tabla.

La calificación de la severidad está definida por el número mayor obtenido en la tabla según cada criterio de significancia, esta evaluación es colocada en la columna SEVERIDAD de la Ficha de Evaluación de Significancia de la siguiente manera: se anota primero el valor de la severidad (**1, 2, ó 3 - Bajo, Moderado o Alto**) y luego de un guión (-) se anota el valor del criterio de significancia (1, 2, 3 ó 4).

Ejemplos: **3 -1**, donde el valor de la severidad es **Alto** y el criterio de significancia es: impacto ambiental es severo. De esta manera se puede identificar el criterio de significancia considerado por los evaluadores de este aspecto ambiental. **2 – 1, 3, 4** donde la severidad es **Moderada** y el criterio de significancia es: 1, impacto ambiental moderado, 3, interferencia en la actividad normal de la comunidad, debido al impacto de nuestras actividades que afecten a las personas y su entorno y 4, Afecta moderadamente a la imagen de la empresa.

EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD			
Criterio de Significancia	1 = Bajo	2 = Moderado	3 = Alto
1. Severidad del Impacto	El impacto ambiental es leve ***	El impacto ambiental es moderado**	El impacto ambiental es severo*
2. Costo de Remediación o Mitigación del Impacto	Costo < US\$ 5 000	Costo entre US\$ 5 000 y US\$ 100 000	Costo > US\$ 100 000
3. Afectación a la comunidad	Malestar debido a las actividades de organización, sin llegar a afectar ambientalmente a la comunidad y a su entorno.	°° Interferencia en la actividad normal de la comunidad, debido al impacto de nuestras actividades que afectan a las personas y su entorno.	° Alteración en la actividad normal de la comunidad, debido al impacto de nuestras actividades que afectan a las personas y su entorno.
4. Imagen de la empresa	No afecta a la imagen de la empresa	Afecta moderadamente a la imagen de la empresa	Afecta severamente a la imagen de la empresa

Nota. * **Impacto ambiental severo:** Aquel en que la recuperación de las condiciones del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras intensivas y en el que, aun con esas medidas, aquella recuperación precisa un período de tiempo prolongado. ** **Impacto ambiental moderado:** Aquel cuya recuperación no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere menos de un año. *** **Impacto ambiental leve:** Aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa prácticas correctoras o protectoras. ° Alteración: Cambio de las condiciones normales en las actividades de la comunidad y su entorno cuyo tiempo de remediación es mayor a 2 años. °° Interferencia: Cambio de las condiciones normales en las actividades de la comunidad y su entorno cuyo tiempo de remediación es menor a 2 años.

Tabla 2. Evaluación de la severidad

b. Evaluación de la Frecuencia

Se evalúan la Frecuencia del Aspecto Ambiental como: **raro, poco probable, probable y muy probable**, según la Tabla de Evaluación de Frecuencia (ver Tabla 3.), la puntuación obtenida es colocada en la columna FRECUENCIA de la Ficha de Evaluación de Aspectos Ambientales.

EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA	
Frecuencia con la que el impacto puede ocurrir	
1 RARO	Puede ocurrir menos de una vez al año
2 POCO PROBABLE	El evento puede ocurrir una vez por año
3 PROBABLE	El evento puede ocurrir más de una vez al año y menos de una vez al mes
4 MUY PROBABLE	El evento puede ocurrir más de una vez al mes

Tabla 3. Evaluación de la Frecuencia

c. Valoración del Aspecto Ambiental

Para determinar si el aspecto ambiental es **Significativo** o **No significativo**, se emplea la tabla de Valoración del Aspecto Ambiental (ver Figura 2) donde realiza una ponderación de la puntuación obtenida en la Evaluación de la Severidad (vertical) (sólo considerar el primer número antes del guion), con la Evaluación de la Frecuencia (horizontal). Si el AA obtiene como resultado una puntuación mayor a 7 se considera como **Aspecto Ambiental Significativo**. Luego se llena la columna CLASIFICACIÓN de la Ficha de Evaluación de Aspectos Ambientales.

Así mismo se considera como Aspecto Ambiental Significativo a aquellos que, sin cumplir con las condiciones anteriores, se consideran importantes para organización.

Valoración del Aspecto Ambiental Severidad por Frecuencia					
SEVERIDAD	3 Alto	12	11	9	6
	2 Moderado	10	8	5	3
	1 Bajo	7	4	2	1
		4 Muy probable	3 Probable	2 Poco probable	1 Raro
		FRECUENCIA			

Figura 2. Valoración del Aspecto Ambiental Severidad por Frecuencia

Los aspectos significativos son incluidos en la ficha de Índices de Aspectos Ambientales significativos (Figura 3), en la cual además se detalla los impactos ambientales y los procesos relacionados.

Nº	Aspecto Ambiental Significativo	Impacto Ambiental	Proceso(s) relacionados
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			

Responsable: _____
Fecha: __/__/__

Figura 3. Índice de Aspectos Ambientales Significativos

Evaluación de Riesgos Ambientales

La metodología considerada para la evaluación de riesgos ambientales, es tomada de la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales, de la Dirección General de Calidad Ambiental, del Viceministerio de Gestión Ambiental; del Ministerio del Ambiente MINAM, (2010). El método propone un modelo estandarizado para la identificación, análisis y evaluación de los riesgos ambientales de una organización, independientemente de su tamaño y actividad.

El procedimiento descrito en esta norma es de aplicación a las etapas de funcionamiento y mantenimiento de las actividades realizadas, tanto en las condiciones normales de operación, como en situaciones accidentales.

Formulación de Escenarios

Previa a la formulación de escenarios se necesita identificar todos los peligros potenciales generados por la actividad, esta identificación se logra a partir de la revisión de la información recopilada en las fases previas y la visita directa al lugar de operaciones. Una vez identificados todos los peligros potenciales, se formula una serie de escenarios de riesgo, para cada uno de los cuales se estimará posteriormente la probabilidad de que se materialice y la gravedad de las consecuencias. Para la formulación de Escenarios, se utiliza la Tabla 4.

ESCENARIO IDENTIFICADO	ELEMENTO	ESCENARIO RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA
X				
Y				
Z				

Tabla 4. Formulación de Escenarios

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

Estimación de la Probabilidad

Según la Guía del MINAM, la organización debe asignar a cada uno de los escenarios una probabilidad de ocurrencia en función a los criterios mostrados en la Tabla 5.

Valor	Probabilidad
5	Muy probable < Una vez a la semana
4	Altamente probable > Una vez a la semana y < una vez al mes
3	Probable > Una vez al mes y < una vez al año
2	Posible > Una vez al año y < una vez cada 05 años
1	Improbable > Una vez cada 05 años

Tabla 5. Estimación de la Probabilidad.

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

Estimación de la Gravedad de las Consecuencias

La estimación de la gravedad de las consecuencias se realiza de forma diferenciada para el entorno natural, humano y socioeconómico. Para el cálculo del valor de las consecuencias en cada uno de los entornos, se utiliza las siguientes fórmulas:

Gravedad entorno natural = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + calidad del medio

Gravedad entorno humano = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + población afectada

Gravedad entorno Socioeconómico = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + patrimonio y capital productivo

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

Donde: Cantidad: cantidad de sustancia emitida al entorno

Peligrosidad: se evalúa en función de la peligrosidad intrínseca de la sustancia (toxicidad, posibilidad de acumulación, etc.).

Extensión: se refiere al espacio de influencia del impacto del entorno

Calidad del medio: se considera el impacto y su posible reversibilidad

Población afectada: número estimado de personas afectadas

Patrimonio y capital productivo: se refiere a la valoración del patrimonio económico y social (patrimonio histórico, infraestructura, actividad agraria, instalaciones industriales, espacios naturales protegidos, son las residenciales y de servicios).

En caso de las consecuencias del entorno natural la estimación de gravedad de las consecuencias es de acuerdo a la Tabla 6.

Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy elevada
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Elevada
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Media
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Baja

Tabla 6. Estimación de la Gravedad de las Consecuencias sobre entorno natural

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

En caso de las consecuencias del entorno humano la estimación se realiza de acuerdo a la Tabla 7 la gravedad de las consecuencias:

Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población Afectada
4	Muy alta	Muerte o defectos irreversibles	Muy extenso	Más de 100 personas
3	Alta	Daños graves	Extenso	Entre 25 y 100 personas
2	Poca	Daños leves	Poco extenso	Entre 5 y 25 personas
1	Muy poca	Daños muy leves	Puntual	Menos de 5 personas

Tabla 7. Estimación de la Gravedad de las Consecuencias sobre el entorno humano.

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

En caso de las consecuencias sobre el entorno socioeconómico, la estimación se realiza de acuerdo a la Tabla 8 la gravedad de las consecuencias:

Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Patrimonio y capital Productivo
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Perdida 100 % medio receptor
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Perdida 50 % medio receptor
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Perdida entre 10 a 20 % medio receptor
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Perdida entre 1 a 2 % medio receptor

Tabla 8. Estimación de la Gravedad de las Consecuencias sobre el entorno socioeconómico.

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

Finalmente, para cada uno de los escenarios identificados se asigna una puntuación de uno a cinco a la gravedad de las consecuencias (ver Tabla 9), en cada entorno según el siguiente baremo o escala arbitraria:

Valor	Valoración	Valor asignado
Critico	20-18	5
Grave	17-15	4
Moderado	14-11	3
Leve	10-8	2
No relevante	7-5	1

Tabla 9. *Estimación de la Gravedad de las Consecuencias.*

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

Estimación de Riesgo Ambiental

El producto de la probabilidad y la gravedad de las consecuencias anteriormente estimadas, permite la estimación de riesgo ambiental. Éste se determina para los tres entornos considerados, naturales, humanos y socioeconómicos.

Para la evaluación del riesgo ambiental se elaboran tres tablas de doble entrada, una para cada entorno (natural, humano y socioeconómico), en las que gráficamente debe aparecer cada escenario teniendo en cuenta su probabilidad y consecuencias.

La ubicación de los escenarios en la Figura 4, permitirá a la organización emitir un juicio sobre la regulación de riesgo ambiental y plantear una mejora de la gestión para reducir el riesgo.

PROBABILIDAD	GRAVEDAD ENTORNO				
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					

	Riesgo Significativo : 16 a 25
	Riesgo Moderado : 6 a 15
	Riesgo Leve : 1 a 5

Figura 4 . Estimación del Riesgo Ambiental Probabilidad por Gravedad Entorno.

Fuente: Guía de evaluación de riesgos ambientales (MINAM, 2010)

METODOLOGÍAS DE MONITOREO

Monitoreo de Emisiones Furtivas: La metodología utilizada fue el de Separación inercial/filtración (Gravimetría) de acuerdo al Protocolo de monitoreo de calidad de aire , DIGESA, D. D. S. (2005).

Monitoreo de Emisiones a la Atmósfera: Las mediciones fueron realizadas siguiendo los lineamientos señalados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - USEPA, en las regulaciones del Código Federal y de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Resolución Ministerial, N. N° 026-2000-ITINCI/DM (2000). Protocolos de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas.

Monitoreo de ruido

Método de Medición para Ruido Ocupacional: Para la medición de ruido se tomó la NTP-ISO 9612: 2010: Acústica. Determinación de la exposición al ruido laboral. Método de ingeniería.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procesos generales de la planta de procesamiento de cal

Las actividades que realiza que realiza la planta se describen a continuación:

- Transporte y Molienda de Petcoke y/o Carbón (combustibles sólidos).
- Recepción, Almacenamiento y Transporte de Piedra Caliza.
- Proceso de Calcinación de la Cal.
- Transporte, Almacenamiento y Despacho de Cal

Identificación y Evaluación de Significancia de los Aspectos Ambientales

La identificación y evaluación de significancia de los aspectos ambientales se muestran en fichas de mapeo y evaluación significativa de cada uno de los procesos que involucran a la planta , como se muestra en la Figura 5.



Figura 5: Ficha de Mapeo

En la Tabla 10 se cuantifica las emisiones furtivas de los aspectos ambientales identificados de la descarga de material por trimestres

CÓDIGO	1 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3	2 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3	3 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3	4 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3
EFK-1	109,9	123	63.4	169

Tabla 10. Emisiones Furtivas en el Proceso de Descarga de material

Para efectos de comparación se toma la norma de referencia US EPA National Ambient Air Quality standards (1971) el valor es de 260 ug/m3. Para ruido ambiental generado en la descarga de material, se tomaron muestras por trimestres tal como se aprecia en la Tabla 11.

Estación	PRIMER TRIMESTRE 2016	SEGUNDO TRIMESTRE 2016	TERCER TRIMESTRE 2016	CUARTO TRIMESTRE 2016	Estándar de Comparación ⁽⁴⁾
	L_{AeqT}	L_{AeqT}	L_{AeqT}	L_{AeqT}	
RK1	68,9	53.6	62.1	60.4	85

Tabla 11. Ruido generado en la Descarga de material (*Nota. (4)* Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico R.M. N° 375-2008-TR (Publicado el 31/11/2008), para 8 horas)

Los residuos sólidos generados en el proceso de descarga de material son residuos sólidos comunes. En la Tabla 12 se muestra la evaluación de los aspectos ambientales en la descarga de materiales:

Cesur		EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES				N°. 001
PROCESO: DESCARGA DE MATERIAL (Piedra caliza y Petcoke)		RESPONSABLE DEL PROCESO: JEFE DE MEDIO AMBIENTE				
No.	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	SEVERIDAD	FRECUENCIA	VALORACIÓN	CLASIFICACIÓN
1.	Emisiones Furtivas	Pérdida de calidad de aire	2 – 4	4	10	Significativo
2.	Generación de Ruido	Modificación de calidad ambiental	1 – 1	4	7	No Significativo
3.	Generación de residuos sólidos comunes	Modifica calidad de suelo	1 – 1	4	7	No Significativo

Tabla 82. Evaluación de aspectos ambientales (Descarga de material –piedra caliza y petcoke)

La significancia está relacionada con la imagen de la empresa:

Cesur	<u>Cesur</u>	N° 002
	ISO 14001:2015	
	IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES	

FUNCIONAMIENTO DE ZARANDAS.



Figura 6. Ficha de Mapeo (Funcionamiento de zarandas)

Cuantificación de los aspectos ambientales identificados en el funcionamiento de zarandas. En la Tabla 13 se cuantifica las emisiones furtivas de los aspectos ambientales identificados por el funcionamiento de las zarandas.

CÓDIGO	1 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3	2 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3	3 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3	4 TRIMESTRE 2016 Partículas en ug/m3
EFK-2	95,0	132	73.5	158

Tabla 9. Emisiones Furtivas en el proceso de Funcionamiento de zarandas

Para efectos de comparación se toma el Estándar de la agencia de protección ambiental (EPA) de 260 ug/m³ por 24 horas, norma referencial. Para ruido ambiental por el funcionamiento de las zarandas, se aprecia en la Tabla 14

Estación	PRIMER TRIMESTRE 2016	SEGUNDO TRIMESTRE 2016	TERCER TRIMESTRE 2016	CUARTO TRIMESTRE 2016	Estándar de Comparación ⁽⁴⁾
	L _{AeqT}	L _{AeqT}	L _{AeqT}	L _{AeqT}	
RK-2	85,3	84.9	88.4	70.3	85
RK-3	87,5	67.6	87.7	79.7	
RK-4	88,6	64.7	90.4	77.3	

Tabla 10. Ruido generado en el Funcionamiento de zarandas. (Nota. (4) Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico R.M. N° 375-2008-TR (Publicado el 31/11/2008).para 8 horas)

Cesur.	<u>Cesur.</u>	Nº.003
	ISO 14001:2015	
	IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES	

FUNCIONAMIENTO DE HORNOS.

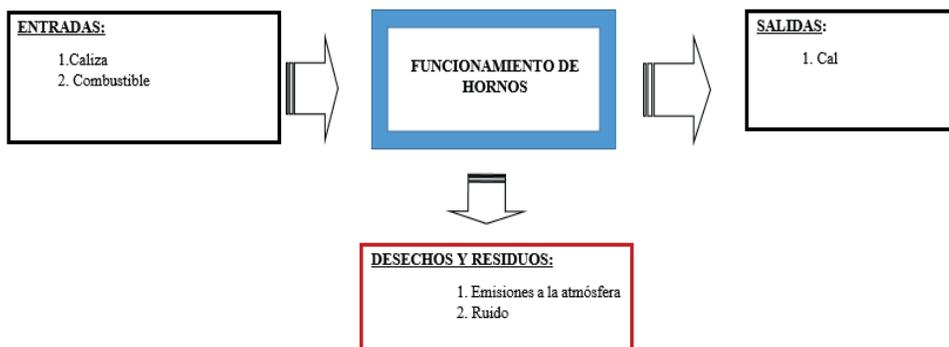


Figura 7. Ficha de Mapeo (Funcionamiento de Hornos)

En la Tabla 15 se cuantifica las emisiones furtivas de los aspectos ambientales identificados del funcionamiento de los hornos por trimestres

PERIODO	PARAMETRO	CÓDIGO			Estándar de comparación
		MPK-1	MPK-2	MPK-3	
1 TRIMESTRE 2016 en ug/m3	Partículas	0.37		0.37	150 (1)
	CO	237	HORNO PARADO	167	4000 (2)
	NOx	199		235	1200 (2)
	SO ₂	13.41		13	1200 (2)
2 TRIMESTRE 2016 en ug/m3	Partículas	4.98		4.5	150 (1)
	CO	238	HORNO PARADO	160	4000 (2)
	NOx	180.5		233	1200 (2)
	SO ₂	13.41		9.71	1200 (2)
3 TRIMESTRE 2016 en ug/m3	Partículas	0.78	0.07	0.1	150 (1)
	CO	248	171	167	4000 (2)
	NOx	190.5	247	222	1200 (2)
	SO ₂	0.00175	0.0024	9.71	1200 (2)
4 TRIMESTRE 2016 en ug/m3	Partículas	0.06	0.1495	0.025	150 (1)
	CO	243	178	167	4000 (2)
	NOx	205.5	243	222	1200 (2)
	SO ₂	0.835	0.85	0.09	1200 (2)

Nota. (1) DS 003-2002 PRODUCE (Instalaciones nuevas). (2) NOM-040-ECOL-2002 Norma oficial mexicana niveles máximos de emisión a la atmósfera -fabricación de cemento

Tabla 11. Emisiones a la Atmósfera en el proceso de Funcionamiento de hornos

Para ruido ambiental generado por el funcionamiento de los hornos, se tomaron muestras por trimestres tal como se aprecia en la Tabla 16.

Estación	PRIMER TRIMESTRE 2016	SEGUNDO TRIMESTRE 2016	TERCER TRIMESTRE 2016	CUARTO TRIMESTRE 2016	Estándar de comparación ⁽⁴⁾
	L_{AeqT}	L_{AeqT}	L_{AeqT}	L_{AeqT}	
RK-5	77,3	74.6	75.4	68	85
RK-6	78,4	69.9	75.6	69.7	
RK-7	78,0	68.3	77.6	68.7	

Nota. (4) Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico R.M. N° 375-2008-TR (Publicado el 31/11/2008).para 8 horas

Tabla 12. Ruido generado en el Funcionamiento de hornos

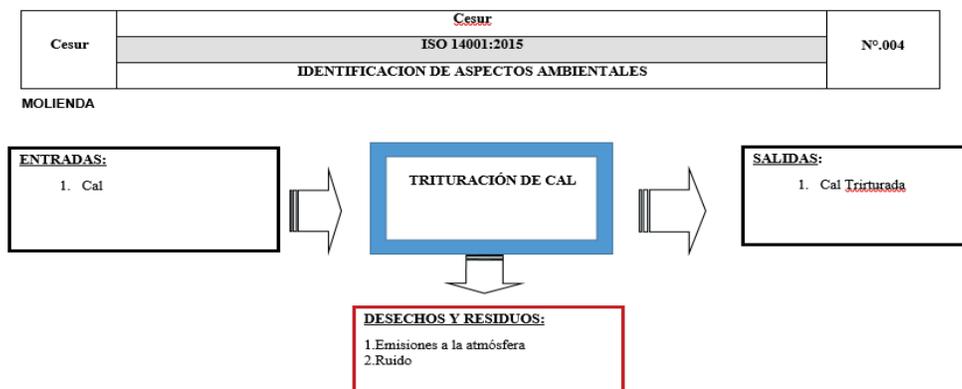


Figura 8. Ficha de Mapeo (Trituración de la cal)

En la Tabla 17 se cuantifica las emisiones furtivas de los aspectos ambientales identificados en la trituración de cal por trimestres.

PERIODO	PARAMETRO	Área de Molino (Chancadora)MPM-1	ESTANDAR DE COMPARACIÓN
1 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	0.06	150 (1)
	CO	NA	4000 (2)
	NOx	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	1200 (2)
2 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	0.08	150 (1)
	CO	NA	4000 (2)
	NOx	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	1200 (2)
3 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	0.14	150 (1)
	CO	NA	4000 (2)
	NOx	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	1200 (2)
4 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	0.08	150 (1)
	CO	NA	4000 (2)
	NOx	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	1200 (2)

Nota. (1) DS 003-2002 PRODUCE (Instalaciones nuevas). (2) NOM-040-ECOL-2002 Norma oficial mexicana niveles máximos de emisión a la atmósfera -fabricación de cemento

Tabla 13. Emisiones a la Atmósfera en el proceso de Trituración de cal

Para ruido ambiental generado por la trituración de cal, se tomaron muestras por trimestres tal como se aprecia en la Tabla 18

Estación	PRIMER TRIMESTRE	SEGUNDO TRIMESTRE	TERCER TRIMESTRE	CUARTO TRIMESTRE	Estándar de comparación
	L _{AeqT}	L _{AeqT}	L _{AeqT}	L _{AeqT}	
RK-8	74,1	77.5	79.2	73.6	85

Nota. (4) Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico R.M. N° 375-2008-TR (Publicado el 31/11/2008).para 8 horas

Tabla 14. Ruido generado por la trituración de cal

Cesur	<u>Cesur</u>	Nº. 005
	ISO 14001:2015	
	IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES	

ALMACEN.

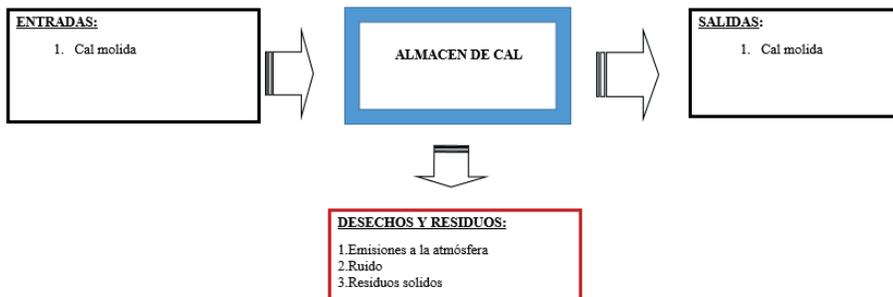


Figura 9. Ficha de Mapeo (Almacenamiento de cal)

En la Tabla 19 se cuantifica las emisiones furtivas de los aspectos ambientales identificados en el proceso de almacén de cal por trimestres.

PERIODO	PARAMETRO	Área de Almacenamiento MPD-1	Área de Almacenamiento MPD-2	ESTANDAR DE COMPARACIÓN
1 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	6.1	1.3	150 (1)
	CO	NA	NA	4000 (2)
	NO _x	NA	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	NA	1200 (2)
2 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	0.1	0.69	150 (1)
	CO	NA	NA	4000 (2)
	NO _x	NA	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	NA	1200 (2)
3 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	0.12	0.16	150 (1)
	CO	NA	NA	4000 (2)
	NO _x	NA	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	NA	1200 (2)
4 TRIMESTRE 2016 en mg/m3	Partículas	0.1	0.69	150 (1)
	CO	NA	NA	4000 (2)
	NO _x	NA	NA	1200 (2)
	SO ₂	NA	NA	1200 (2)

Nota. (1) DS 003-2002 PRODUCE (Instalaciones nuevas). (2) NOM-040-ECOL-2002 Norma oficial mexicana niveles máximos de emisión a la atmósfera -fabricación de cemento

Tabla 15. Emisiones a la atmósfera en el proceso de almacén.

Para ruido ambiental generado por el almacenamiento de cal, se tomaron muestras por trimestres tal como se aprecia en la Tabla 20.

Estación	Nivel de Presión Sonora dB(A) PRIMER TRIMESTRE 2016	Nivel de Presión Sonora dB(A) SEGUNDO TRIMESTRE	Nivel de Presión Sonora dB(A) TERCER TRIMESTRE	Nivel de Presión Sonora dB(A) CUARTO TRIMESTRE	Estándar de comparación ⁽⁴⁾
	L_{AeqT}	L_{AeqT}	L_{AeqT}	L_{AeqT}	
RK-9	83,1	65	63.4	60.9	85
RK-10	75,8	70.8	69.4	33.7	

Tabla 20. Ruido generado en el Funcionamiento de almacén(Nota. (4) Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico R.M. N° 375-2008-TR (Publicado el 31/11/2008).para 8 horas)

Los resultados de la evaluación de Aspectos ambientales significativos de los 05 procesos, se muestran en la siguiente tabla:

CUADRO RESUMEN DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES						
N°	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	SEVERIDAD	FRECUENCIA	VALORACIÓN	CLASIFICACIÓN
DESCARGA DE MATERIAL (Piedra caliza y Petcoke)						
1	Emisiones Furtivas	Pérdida de calidad de aire	2 – 4	4	10	Significativo
2	Generación de Ruido	Modificación de calidad ambiental	1 – 1	4	7	No Significativo
3	Generación de residuos sólidos comunes	Modificación de calidad de suelo	1 – 1	4	7	No Significativo
FUNCIONAMIENTO DE ZARANDAS						
1	Emisiones Furtivas	Pérdida de calidad de aire	2 – 4	4	10	Significativo
2	Generación de Ruido	Modificación de calidad ambiental	2 – 4	4	10	Significativo
FUNCIONAMIENTO DE HORNOS						
1	Emisiones a la Atmósfera	Pérdida de calidad de aire	2 – 4	4	10	Significativo
2	Generación de Ruido	Modificación de calidad ambiental	1 – 1	4	7	No Significativo
MOLIENDA DE CAL						
1	Emisiones a la Atmósfera	Pérdida de calidad de aire	2 – 4	4	10	Significativo
2	Generación de Ruido	Modificación de calidad ambiental	1 – 1	4	7	No Significativo
ALMACENAMIENTO DE CAL						
1	Emisiones a la Atmósfera	Pérdida de calidad de aire	2 – 4	4	10	Significativo
2	Generación de Ruido	Modificación de calidad ambiental	1 – 1	4	7	No Significativo
3	Generación de residuos sólidos comunes	Modificación de calidad de suelo	1 – 1	4	7	No Significativo

Tabla 16. Cuadro Resumen de Aspectos Ambientales significativos

Monitoreo de calidad ambiental de aire y suelo

Se muestran datos de monitoreo de calidad ambiental que se han realizado en el entorno de la planta, considerándose aire y suelo. Se debe hacer notar que en el proceso no se utiliza agua, es por ello no es considerada dentro de los elementos evaluados para establecer la calidad ambiental.

Se realizó el monitoreo de calidad de aire para material particulado por trimestres, tal como se muestra en la Tabla 22 los valores por cada punto.

PUNTO DE MONITOREO	CÓD.	1 TRIMESTRE 2016		2 TRIMESTRE 2016		3 TRIMESTRE 2016		4 TRIMESTRE 2016	
		PM ₁₀	PM _{2.5}						
Ubicado al exterior de la Planta, a 500m al Este de la Planta Industrial y al Sur de Caracoto. Barlovento.	CA-1	47.5	4.9	65.3	6.6	93.8	9.4	44.8	3.4
Ubicado en el exterior de Planta a 400m al Oeste de la Planta Industrial y al SE del pueblo de Chujura. Sotavento.	CA-2	71.2	7.3	47.7	5	67.3	7.1	29.7	2.7
Ubicado al SE de la casa hacienda y al SE de la planta industrial.	CA-3	53.8	5.5	53.5	5.3	81.6	8.4	34.8	3.9
Ubicado al SO del pueblo de Caracoto a 780m al NE de la planta.	CA-4	72.2	7.4	77.9	7.8	86.5	9.2	11.1	1.4
Ubicado en la Comunidad Pucará Vizcachani a 1313m al Sur de la planta industrial.	CA-5	57.8	5.9	46.3	4.6	71.9	7.4	30.4	3.1
Ubicado en la Comunidad San Antonio de Chujura a 1850m al Oeste de la Planta Industrial.	CA-6	77.4	7.9	20.3	2.1	73.8	7.5	18.5	2
ESTANDAR DE COMPARACIÓN		150 (1)	25 (2)						

Tabla 17. Valores de PM 10 y PM 2.5. en el entorno de la planta en ug/m³ (Nota. (1) DS 074-2001 PCM REGLAMENTO DE ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD DE AIRE. (2) DS N° 003-2008 MINAM ESTANDARES AMBIENTALES PARA CALIDAD DE AIRE. Como se observa, ninguno de los valores obtenidos supera los establecidos por norma legal).

Se realizó el monitoreo de calidad de aire para gases por trimestres, tal como se muestra en la Tabla 23 los valores por cada punto.

PUNTO DE MONITOREO	1 TRIMESTRE 2016			2 TRIMESTRE 2016			3 TRIMESTRE 2016			4 TRIMESTRE 2016		
	CO	NO _x	SO ₂									
Ubicado al exterior de la Planta, a 500m al Este de la Planta Industrial y al Sur de Caracoto. Barlovento.	237	<4	<13	213	<4	<13	238	<4	<13	455	<4	<13
Ubicado en el exterior de Planta a 400m al Oeste de la Planta Industrial y al SE del pueblo de Chujura. Sotavento.	665	<4	<13	255	<4	<13	309	<4	<13	317	<4	<13
Ubicado al SE de la casa hacienda y al SE de la planta industrial.	397	<4	<13	202	<4	<13	307	<4	<13	396	<4	<13
Ubicado al SO del pueblo de Caracoto a 780m al NE de la planta.	396	<4	<13	251	<4	<13	321	<4	<13	234	<4	<13
Ubicado en la Comunidad Pucará Vizcachani a 1313m al Sur de la planta industrial.	277	<4	<13	210	<4	<13	284	<4	<13	292	<4	<13
Ubicado en la Comunidad San Antonio de Chujura a 1850m al Oeste de la Planta Industrial.	626	<4	<13	231	<4	<13	325	<4	<13	271	<4	<13
ESTANDAR DE COMPARACIÓN	10000 (1)	200 (2)	20 (2)									

Tabla 18. Valores de CO, NOx y SO2 en el entorno de la planta en ug/m³ (Nota. (1)DS 074-2001 PCM REGLAMEN ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD DE AIRE. (2) DS N° 003-2008 MINAM ESTANDARES AMBIENTALES PARA CALIDAD DE AIRE. Como se observa, ninguno de los valores obtenidos supera los establecidos por norma legal).

Estaciones	PRIMER TRIMESTRE 2016	SEGUNDO TRIMESTRE 2016	TERCER TRIMESTRE 2016	CUARTO TRIMESTRE 2016
	Hidrocarburos de petróleo rango (mg/kg)(C10 – C28)			
SU-01	<10	34	19.24	36
ECA ⁽⁵⁾	5 000			

Nota. (5) D.S. N° 011-2017-MINAM “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo”.

Tabla 19. Valores de Hidrocarburos en Suelo en el entorno de la planta

Como se observa, ningún valor obtenido supera lo establecidos por norma legal

EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES

Para la evaluación de riesgos ambientales se ha considerado la guía de evaluación de riesgos ambientales del MINAM (2010)

Formulación de Escenarios

Para la formulación de escenarios de riesgos se consideraron los aspectos ambientales significativos de acuerdo a la Tabla 25, que para el presente estudio fueron: Emisiones Furtivas para procesamiento de material (caliza), emisiones a la atmósfera por calcinación en los hornos, molienda de cal y almacenamiento y Generación de Ruido únicamente para el proceso de funcionamiento de zarandas.

ESCENARIO IDENTIFICADO	ELEMENTO	ESCENARIO RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA
Emisiones furtivas	Partículas en el aire	Presencia de emisiones furtivas	Procesamiento del material (Caliza)	Daño a la salud de pobladores
Emisiones a la Atmósfera	Partículas y gases de combustión en el aire	Presencia de Emisiones a la atmósfera	Calcinación en los hornos, molienda de cal y almacenamiento	Daño a la salud de pobladores
Generación de Ruido	Ruido	Ruido que genera daño permanente	Operación de Zarandas	Hipoacusia

Tabla 20. Formulación de Escenarios de Riesgo

Estimación de la Probabilidad

Como se describió en la sección de metodología, se procede a dar un valor a la probabilidad de ocurrencia del escenario de riesgo identificado, de acuerdo a la Tabla 26:

ESCENARIO IDENTIFICADO	ELEMENTO	ESCENARIO RIESGO	PROBABILIDAD
Emisiones furtivas	Partículas en el aire	Presencia de emisiones furtivas	5 Muy probable
Emisiones a la atmósfera	Partículas y gases de combustión a la atmósfera	Presencia de emisiones a la atmósfera	5 Muy probable
Generación de Ruido	Ruido	Ruido que genera daño permanente	5 Muy probable

Tabla 21. Estimación de la Probabilidad

Estimación de la gravedad de las consecuencias

La estimación de la gravedad de la consecuencia se realiza en forma diferenciada para el entorno natural, humano y socioeconómico. La gravedad del entorno natural se calcula mediante la cantidad, más el doble de la peligrosidad, más la extensión, más la calidad del medio; la gravedad en el entorno humano se calcula mediante la cantidad, más el doble de la peligrosidad, más la extensión, más la población afectada; la gravedad del entorno socioeconómico se calcula mediante la cantidad, más el doble de la peligrosidad, más la extensión, más el patrimonio y el capital productivo. Los detalles de aplicación de las escalas se observan en la sección de metodología.

En la Tabla 27 se realiza la estimación de la gravedad de las consecuencias sobre el entorno natural:

No.	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Gravedad	Puntuación total
S1	Emisiones furtivas	4	3	2	3	15	4
S2	Emisiones a la atmósfera	2	3	3	3	14	3
S3	Generación de Ruido	3	3	3	2	14	3

Tabla 22. Estimación de la gravedad de las consecuencias (Entorno Natural)

Para el entorno natural, los escenarios de riesgo con la más alta estimación de gravedad corresponden a las emisiones furtivas.

En la Tabla 28 se realiza la estimación de la gravedad de las consecuencias sobre el entorno humano:

No.	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población Afectada	Gravedad	Puntuación total
S1	Emisiones furtivas	4	3	2	4	16	4
S2	Emisiones a la atmósfera	2	3	3	3	14	3
S3	Generación de Ruido	3	3	3	2	14	3

Tabla 23. Estimación de la gravedad de las consecuencias (Entorno Humano)

Para el entorno humano los escenarios de riesgo con mayor gravedad corresponden a las emisiones furtivas.

En la Tabla 29 se realiza la estimación de la gravedad de las consecuencias sobre el entorno socioeconómico:

No.	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Patrimonio y Capital Productivo	Gravedad	Puntuación total
S1	Emisiones furtivas	4	3	2	2	14	3
S2	Emisiones a la atmósfera	2	3	3	3	14	3
S3	Generación de Ruido	3	3	3	2	14	3

Tabla 24. Estimación de la gravedad de las consecuencias (Entorno Socio Económico)

En el entorno socio económico los escenarios de riesgo que presentan mayor gravedad corresponden a las emisiones furtivas, emisiones a la atmósfera y generación de ruido.

Evaluación del Riesgo Ambiental

Para la evaluación final de riesgo ambiental se toma en cuenta cada uno de los entornos y para ello se utiliza tres tablas de doble entrada cuya elaboración se explica en la sección de metodología. En la Figura 10 se evalúa los riesgos ambientales para entorno natural, humano y socioeconómico:

Entorno Natural

		GRAVEDAD ENTORNO				
		N	1	2	3	4
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5			S2 S3	S1	

Entorno Humano

		GRAVEDAD ENTORNO				
		H	1	2	3	4
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5			S2 S3	S1	

Entorno Socio Económico

		GRAVEDAD ENTORNO				
		se	1	2	3	4
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5			S1 S2 S3		

	Riesgo Significativo : 21 a 25
	Riesgo Moderado : 16 a 20
	Riesgo Leve : 11 a 15

Figura 10. Cuadro resumen de la Evaluación del Riesgo Ambiental

Las emisiones furtivas, tanto para el entorno natural como para el entorno humano representan un riesgo Significativo o alto, en cambio en el entorno socioeconómico representa un riesgo Moderado; las emisiones a la atmósfera, tanto para el entorno natural como para el entorno humano y el entorno socioeconómico representan un riesgo Moderado y las generaciones de ruido, tanto para el entorno natural como para el entorno humano y el entorno socioeconómico representan un riesgo Moderado.

PROPUESTAS DE MEDIDAS DE CONTROL OPERACIONAL

Las propuestas de medidas de control operacional e aplican sobre los aspectos ambientales significativos. La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos necesarios para cumplir los requisitos del sistema de gestión ambiental ISO 14001:2015, de la siguiente manera:

Proceso: Descarga de Material (Piedra caliza y petcoke)

Emissiones Furtivas (pérdida de calidad de aire):

- Se realizará un programa de riego continuo en todos los frentes de trabajo, vías de acceso, y en el acarreo de materiales. Para ello podrán acondicionar cisternas de agua, las cuales se ubicarán próximas a zonas afectadas
- Se contará con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de todos los componentes del proyecto (fajas, tolvas, filtro de mangas, etc.)
- Capacitar personal en temas de seguridad operativa y temas ambientales
- Uso de equipo de protección personal (protector nasal, guantes, casco, protector auditivo, botas de seguridad, lentes de protección) según sea el caso

Proceso: Funcionamiento De Zarandas

Emissiones Furtivas (pérdida de calidad de aire):

- Se contará con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de todos los componentes del área (fajas, tolvas, filtro de mangas, etc.)
- Mantener en estado operativo los filtros de mangas y realizar un programa de mantenimiento preventivo
- Generación de ruido (modificación de la calidad ambiental)
- Mantenimiento preventivo de todos los equipos y móviles para minimizar el nivel de ruido y vibración que pudieran alterar las especies de avifauna.
- Uso de equipo de protección personal (auditiva)
- Evitar que el personal labore por más de 08 horas continuas en zonas donde los niveles de ruido superen los 85 Db

Proceso: Funcionamiento de Hornos

Emisiones a la atmósfera (pérdida de calidad de aire):

- Se contará con un programa de mantenimiento preventivo del filtro de mangas principal
- Evaluar la eficiencia del sistema de combustión de los hornos mediante el control de la cantidad de oxígeno y el combustible
- Realizar un programa de mantenimiento preventivo del sistema de combustión

Proceso: Molienda

Emisiones a la atmósfera (pérdida de calidad de aire):

- Se contará con un programa de mantenimiento preventivo del filtro de mangas del sistema de molienda.

Proceso: Almacén

Emisiones a la atmósfera (pérdida de calidad de aire):

- Se contará con un programa de mantenimiento preventivo del filtro de mangas de los silos de almacenamiento.

CONCLUSIONES

Se identifican los aspectos ambientales de la planta procesadora de cal, de un total de 12 Aspectos ambientales que están relacionados fundamentalmente con la generación de emisiones furtivas, Emisiones a la atmósfera y ruido, considerándose un total de 05 procesos unitarios, los cuales son: descarga de material, funcionamiento de zarandas, funcionamiento de hornos, trituración de cal y almacén de cal.

Se determina como aspecto ambiental significativo a las Emisiones Furtivas en el proceso descarga de material y funcionamiento de zarandas y generación de ruido para el proceso Funcionamiento de zarandas, así mismo se identifica emisiones a la atmósfera para los procesos de funcionamiento de hornos molienda de cal y almacenamiento de cal.

Se consideran como escenarios de riesgo el aspecto ambiental significativo; las emisiones furtivas para el proceso de descarga de material y funcionamiento de zarandas , tanto para el entorno natural como para el entorno humano representan un riesgo Significativo o alto, en cambio en el entorno socioeconómico representa un riesgo Moderado; las emisiones a la atmósfera para funcionamiento de hornos, molienda de cal y almacenamiento de cal, tanto para el entorno natural como para el entorno humano y el entorno socioeconómico representan un riesgo Moderado; las generaciones de ruido para el proceso de funcionamiento de zarandas, tanto para el entorno natural como para el entorno humano y el entorno socioeconómico representan un riesgo Moderado.

REFERENCIAS

Chauvet, S. B., Alves, N., & Belló, B. E.. *Una Metodología Para Enfocarse En El Plan De Gestión Ambiental Aplicado Al Depósito De Insumos En Una Cítrica*. 8–11. 2012. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26936>

DIGESA, D. D. S. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. 2005

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). (2010). NTP-ISO 9612:2010: Acústica. Lima, Perú:

International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015 Environmental management systems - Requirements with guidance for use.

León Márquez, M. E. Análisis de los aspectos ambientales de una organización. 2007 Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/leonmarquez.pdf>

Loustaunau, M. Aspectos e impactos ambientales. 2014. Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/proyectoindustrial/A&IA.pdf>

Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Comercio. Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM. Protocolos de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas. 2000

Ministerio de la Producción. Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. 2002

Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. Resolución Ministerial N° 375-2008-TR: Norma Básica de Ergonomía y Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. 2008

Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM. 2008

Ministerio del Ambiente. Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales [PDF]. 2013 Disponible en https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

Presidencia del Consejo de Ministros. Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. 2001

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-040-ECOL-2002: Que establece los límites máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, de los gases producidos por fuentes fijas y su método de prueba. 2002.

TECNOLOGIAS DE RESFRIAMENTO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

Data de aceite: 01/03/2024

Alexandre Fernandes Santos

Fapro Faculdade Profissional
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Heraldo José Lopes de Souza

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Márcia Cristina de Oliveira

Fapro Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
Mestre Sariah Torno
Fapro - Faculdade Profissional

Daiane Busanello

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Darlo Torno

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Sandro Adriano Zandoná

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Natalia Tinti

Fapro Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Eliandro Barbosa de Aguiar

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

RESUMO: É extremamente importante a climatização e refrigeração, mas o GWP (*Global Warming Potencial*) é essencial na tomada de decisão do tipo de equipamento que possui menor impacto ambiental, esse trabalho se refere a comparar sistemas de climatização na tomada de decisão do sistema a ser adotado.

PALAVRAS-CHAVE: Climatização, Refrigeração, GWP, TEWI.

ABSTRACT: Air conditioning and refrigeration are extremely important, but GWP (Global Warming Potential) is essential in making decisions about the type of equipment that has the lowest environmental impact. This work refers to comparing air conditioning systems when making decisions about the system to be adopted.

KEYWORDS: Climatization, Refrigeration, GWP, TEWI.

INTRODUÇÃO

Após a adesão brasileira ao Protocolo de Montreal no ano de 1990, no ano de 2009, o Seminário Nacional “Governo e Sociedade a caminho da eliminação dos HCFCs” marcou o início da elaboração do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), documento que define as diretrizes e ações a serem executadas no Brasil relacionadas ao cumprimento das metas de eliminação do consumo de HCFCs (hidroclorofluorcarbonos). No contexto de climatização e refrigeração, o programa define que até o ano de 2040 o consumo de HCFCs seja completamente eliminado. Já com a Emenda de Kigali, foram definidos prazos para a eliminação dos HFCs, tornando-se necessário um aprofundamento sobre as tecnologias com menor impacto ambiental. A tendência de mercado é a migração para fluidos refrigerantes naturais, como amônia (R-717), dióxido de carbono (R-744) e hidrocarbonetos, que apesar de apresentarem melhores taxas GWP¹ (sigla do inglês, *Global Warming Potential*), podem ser tóxicos, inflamáveis ou trabalhar somente com altas pressões, exigindo fiscalizações mais criteriosas e adoção de medidas e normas de segurança adequadas (Gov.ibama, 2024).

Este relatório tem como objetivo a criação de um estudo de mercado para determinar o potencial de negócios visando à implantação de tecnologias de resfriamento de baixo impacto ambiental no Brasil. Neste estudo serão abordados temas como:

- A descrição da indústria, tecnologias, oferta, demanda e oportunidades de negócios no Brasil;
- Estudo sobre tecnologias de resfriamento com baixo impacto ambiental e baixo potencial de aquecimento global;
- Estudo de mercado para determinar o potencial de negócios da implementação de tecnologias de resfriamento de baixo impacto ambiental no Brasil;
- Mapa de rotas tecnológicas e comerciais da indústria de refrigeração.

Preocupações ambientais tornaram-se a força motriz nos esforços para otimizar os projetos ecológicos por meio de aumento da eficiência energética, pesquisa de novos refrigerantes e uso eficiente dos sistemas antigos. O sistema climático sempre teve influência humana. Assim, é muito importante criar métodos transparentes e fáceis de serem utilizados ao projetar um sistema de energia com baixo impacto ambiental. As métricas ambientais que são utilizadas no processo de seleção de refrigerantes são GWP e TEWI, que serão explicadas a seguir. Cada métrica tem um objetivo semelhante de quantificar o impacto dos refrigerantes no aquecimento global, mas seu uso pode levar a conclusões diferentes (Santos, et al., 2022).

¹ Potencial de Aquecimento Global: medida de como uma determinada quantidade de gás do efeito estufa (GEE) contribui para o aquecimento global.

GLOBAL WARMING POTENTIAL – GWP

O GWP é a métrica ambiental mais utilizada. Trata-se do índice que compara o impacto no aquecimento global da emissão de um gás de efeito estufa em relação a uma emissão proporcional de CO₂. O impacto é estimado durante um determinado tempo. O horizonte temporal de 100 anos é o mais adotado e, normalmente, assumido quando nenhuma informação no horizonte temporal é dada. O GWP é uma métrica fácil de usar, pois quanto menor o GWP, menor a contribuição de uma substância para o aquecimento global.

TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT – TEWI

O TEWI é uma métrica do impacto do aquecimento global de equipamentos com base no total de emissões, relacionadas a gases de efeito estufa durante a operação do equipamento e a eliminação dos fluidos operacionais no fim da vida útil. TEWI leva em conta tanto as emissões furtivas diretas quanto as emissões indiretas, produzidas através da energia consumida na operação dos equipamentos. TEWI é medido em kg de dióxido de carbono equivalente (kg CO₂e) (Santos, et al., 2023).

TEWI é calculado com a soma de duas partes, são elas:

1. Emissão Direta - Refrigerante liberado durante a vida útil do equipamento, incluindo perdas não recuperadas sobre a disposição final;
2. Emissão Indireta - O impacto das emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis utilizados para gerar a energia elétrica que é utilizada na operação do equipamento ao longo de sua vida.

METODOLOGIA

Uma das ações para criar uma simulação de sistema é entender como foi o progresso dos fluidos refrigerantes, a evolução deles, que se baseiam em quatro marcos importantes (Webarcondicionado, 2024):

- **1ª Geração (1834~1930)** – Solventes, líquidos voláteis ou quaisquer substâncias que funcionassem como fluidos refrigerantes, como éteres, amônia (R-717), cloreto de metila (R-40), dióxido de enxofre (R-764), dentre outros;
- **2ª Geração (1931~1990)** – Focada em segurança e durabilidade, os fluidos mais utilizados foram CFCs (clorofluorcarbonos), HCFCs (hidroclorofluorcarbonos), HFCs (hidrofluorcarbonos), amônia e água (R-718);
- **3ª Geração (1991~2010)** – A era que se propôs a reduzir os impactos da camada de ozônio. Após o Protocolo de Montreal os HCFCs foram usados para transição, assim como houve o aumento do uso de HFCs, amônia, água, hidrocarbonetos e dióxido de carbono (R-744);
- **4ª Geração (2010 em diante)** – Inclusão de fluidos zero PDO (Potencial de Destruição do Ozônio), alta eficiência e baixo impacto ambiental como HFOs (hidrofluorolefinas) e aumento no uso de fluidos com baixo GWP como amônia, dióxido de carbono, hidrocarbonetos e água.

PROTOCOLO DE MONTREAL

O Protocolo de Montreal é um tratado internacional com o objetivo de proteção à camada de ozônio por meio da eliminação da produção e consumo das SDOs (Substâncias Destruídas da Camada de Ozônio). O Protocolo possui um positivo aspecto de ser atualizado por meio de emendas, podendo assim se adaptar aos avanços científicos, tecnológicos e sociais do setor. Seguindo as diretrizes do Protocolo de Montreal, foi criado um cronograma para a redução e, posteriormente, eliminação no consumo dos HCFCs, conforme a tabela a seguir (Gov.mma, 2024).

ANO	ETAPA
2013	Congelamento do consumo e produção dos HCFCs baseado no consumo médio entre 2009~2010
2015	Redução de 10% do consumo
2020	Redução de 35% do consumo
2025	Redução de 67,5% do consumo
2030	Redução de 97,5% do consumo*
2040	Redução de 100% do consumo

Nota: O consumo residual (2,5%) poderá ser usado apenas para o setor de serviço

Tabela 1 - Cronograma estabelecido pelo Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), pelo Protocolo de Montreal (Gov.mma, 2024).

Em janeiro de 2019, entrou em vigor a **Emenda de Kigali**, que objetiva a eliminação dos HFCs (hidrofluorcarbonos), que foram desenvolvidos como alternativa aos gases proibidos pelo Protocolo de Montreal. Embora os HFCs não destruam a camada de ozônio, eles possuem um potencial de aquecimento global muito elevado. O cronograma apresentado na emenda de Kigali está representado a seguir (Kigali, 2024):

ANO	ETAPA
2024	Congelamento do consumo e produção dos HFCs baseado no consumo médio entre 2020~2022
2029	Redução de 10% do consumo
2035	Redução de 30% do consumo
2040	Redução de 50% do consumo
2045	Redução de 80% do consumo

Tabela 2 - Cronograma da Emenda de Kigali para HFCs (Kigali, 2024).

Para efeito de análise, as principais características dos fluidos refrigerantes sintéticos e naturais estão apresentadas na tabela a seguir.

Refrigerantes	R22	R404A	R507A	R134a	R410A	R407C	R422D	R427A	R717	R744	R290	R1270
Substância Natural	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim
Nome Comercial	-	-	-	-	-	-	Isecon MO29	FX100	Amônia	Dióxido de Carbono	Propano	Propileno
Fabricante	vários	vários	vários	vários	vários	vários	DuPont	Arkema	vários	vários	vários	vários
Composição Química	CHF ₂ CL	R143a/R125/R134a	R143a/R125/R134a	CF ₃ CH ₂ F	R32/R125/R134a	R32/R125/R134a/R134a	R125/R134a/R600a	R32/R125/R143a/R134A	NH ₃	CO ₂	C ₃ H ₈	CO ₂
Destruição Camada Ozônio (ODP) ^{**}	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potencial Aquecimento Global (GWP) ^{**}	1500	3260	3300	1300	1725	1525	2230	1830	0	1	3	3
Temperatura Gêde (K)	0	0,7	0	0	0,2	7,4	4,5	7,1	0	0	0	0
Ponto de Ebulição (°C)	-40,86	-47	-47	-26,07	-51	-40	-45	-43	-33	-57 (sublimb)	-42	-47,7
Temperatura Crítica (°C)	96,15	73	71	101,15	72	86	81	87	133	31	96,7	92,4
Pressão Crítica (bar)	50,54	37,8	37,9	40,67	49,5	46,5	39,08	44	113,5	73,8	42,48	46,65
Inflamabilidade	não	não	não	não	não	não	não	não	baixa	baixa	alta	alta
Toxicidade	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	alta	baixa	baixa	baixa
Tipo de Óleo lubrificante ***	MO/AB/M O+-AB	POE	POE	POE	POE	POE	MO/AB/POE	MO/AB/POE	MO/PAO	POE	MO/P/AB/POE	MO/P/AB/POE
Tipo de aplicação****	HT/MT/LT	MT/LT	MT/LT	HT	HT	HT	HT/MT/LT	HT/MT/LT	HT/MT/LT (Sist. Indutros)	MT e LT	HT/MT/LT (Sist. Indutros)	MT/LT (Sist. Indutros)
Custo Relativo Refrigerante/Kg	1	3	4	2	4	3	8	10	0,1	0,1	0,1	0,1
Eficiência Energética Relativa Método (%)	100	99	102	97	95	100	95	95	105	120 (sub crítico)	102	101
Equipamentos (Refratfri)	-	Novos	Novos	Novos	Novos	Novos	Existentes	Existentes	Novos	Novos	Novos	Novos

*Destruição da Camada de Ozônio (ODP - *Ozone Depletion Potential*): é um índice baseado inteiramente na referência do gás refrigerante R11 (100%). Por exemplo, o R22 possui um ODP = 0,05, ou seja, tem um potencial de destruição do ozônio de 5% comparado ao R11.

**Potencial de Aquecimento Global (GWP - *Global Warming Potential*) - é um índice que compara o efeito do aquecimento produzido pelos gases na atmosfera ao longo do tempo (normalmente 100 anos), em relação a quantidades semelhantes de CO₂ (em peso). Por exemplo, 1 Kg de R404A liberado na atmosfera produz o mesmo efeito de aquecimento global equivalente a 3260 Kg de CO₂. É o mesmo valor que um carro popular levaria para contaminar a atmosfera circulando durante 2 anos na cidade de São Paulo.

*** Tipo de Aplicação: HT = Alta temperatura de evaporação (ar-condicionado), MT = Média temperatura de evaporação (sistema de resfriados), LT = Baixa temperatura de evaporação (sistema de gelados).

Tabela 3 - Características dos refrigerantes sintéticos e naturais (Gov.MMA, 2011).

Para o desenvolvimento deste estudo, foram criadas simulações e índices para que a replicação de soluções fosse favorecida.

O índice $\text{kg CO}_2/\text{TR}$, criado devido à dificuldade de obtenção de dados da capacidade efetiva instalada no país, para que seja possível simular cenários, entender oportunidades e replicar soluções, demonstra como cada sistema, com seu respectivo fluido refrigerante, atua no aquecimento global de acordo com a carga térmica atendida.

Foram elaboradas cargas térmicas e comparadas todas as opções de mercado no Brasil.

DESENVOLVIMENTO

O índice mais importante para a obtenção de referências concretas das soluções de climatização e refrigeração de baixo impacto é o GWP.

Para este estudo, foram criadas simulações a fim de quantificar e qualificar os fluidos refrigerantes mais utilizados no mercado nacional, bem como as tecnologias envolvidas nestes processos.

As principais informações utilizadas neste relatório foram obtidas por documentos e entrevistas com importantes organizações, empresas e profissionais da área.

ANÁLISES

Os dados para simulação dos sistemas foram obtidos a partir de catálogos de fabricantes, *softwares*, entrevistas e fontes bibliográficas. Estas simulações visam apresentar de forma sintética as características de cada sistema de refrigeração e climatização e seus impactos ambientais.

CLIMATIZAÇÃO

Para a climatização, com o objetivo de simular um cenário real, entender oportunidades e replicar soluções, tendo em vista à dificuldade de obtenção de dados da capacidade efetiva instalada no país, foi realizada uma simulação de climatização. Para tal, foi considerado um edifício genérico de 5 andares e 400TR de carga térmica. Com base em dados da ABRAVA e dos produtos à venda no mercado por empresas da área de ar-condicionado, estes são os principais sistemas de climatização comercial e residencial do país.

Os sistemas analisados foram os seguintes:

1. VRF a ar – Instalado na cobertura e atendendo todos os andares;
2. VRF a ar – Instalado em cada andar para diminuir a quantidade de tubulação frigorígena;
3. VRF a água;
4. Chiller a ar;

5. Chiller a água;
6. Chiller a água com tecnologia LOW-GWP;
7. Equipamento tipo janela;
8. Split convencional.

Por meio do software da LG chamado LATS-HVAC, foi estimada a quantidade adicional de fluido refrigerante nos sistemas de VRF a ar. O resultado das emissões de CO₂ por sistema estão apresentados na Tabela 4.

Sistema	Marca Referência	Modelo Referência	Fluido	GWP	kg Fluido	kg CO ₂
VRF Ar Cobertura	LG	ARUM500LTE5	R-410A	1725	510	878.991
VRF Ar Andar	LG	ARUM500LTE5	R-410A	1725	499	860.689
Split	DAIKIN	STK12P5VL	R-410A	1725	360	621.000
Chiller Ar	CARRIER	30XAB400	R-134a	1300	315	409.630
Janela	GREE	GJC12BL	R-22	1500	240	360.000
VRF Água	LG	ARWN800LAS4	R-410A	1725	201	346.725
Chiller Água	CARRIER	30XWB400	R-134a	1300	245	318.500
Chiller Água Low GWP	JOHNSON CONTROLS	YZ-MA041AN0	R-1233zd	1	395	395

Tabela 4 - Estudo de quantidade de CO2 por cada tipo de sistema

É possível observar que o “Chiller Água Low GWP” chega a emitir duas mil vezes menos CO₂ que outros sistemas. Isto ocorre devido ao fluido refrigerante utilizado, que possui GWP = 1.

O crescente uso no Brasil do sistema VRF, que é o sistema menos eficiente na simulação acima, mostra o quanto é necessário o uso de fluidos refrigerantes naturais.

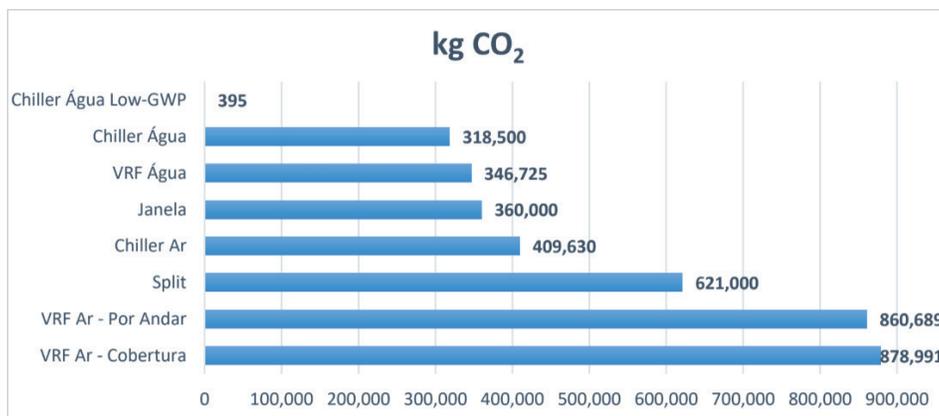


Figura 1 - Estudo de quantidade de CO2 por tipo de sistema

CONCLUSÃO

A carga de fluido refrigerante somada ao GWP devem ser ferramentas essenciais na decisão de qual solução de sistema de climatização a tomar, sistemas como VRF que são conhecidos como ecológicos e de baixo consumo de energia podem contrabalançar negativamente pelo alto GWP, inclusive um prédio com vários Splits Inverter com pouca tubulação frigorígena podem possuir menor GWP que um sistema VRF, o GWP precisa vir na balança para a escolha do melhor sistema de refrigeração.

REFERÊNCIAS

Gov.ibama **Protocolo de Montreal**. Disponível em <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/protocolo-de-montreal>. Acessado em 25/02/2024.

Gov.mma. **Relatório com informações sobre tecnologias equipamentos debaixo gwp para ar-condicionado residencial**. Disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/ozonio/relatrio-com-informaes-sobre-tecnologiasequipamentos-de-baixo-gwp-para-ar-condicionado-residencial.pdf>. Acessado em 26/02/2024.

Gov.mma. **Características dos refrigerantes sintéticos e naturais**. Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2011.

Kigali. **Folder Emenda Kigali**. Disponível em <https://kigali.org.br/wp-content/uploads/2021/09/Folder-Emenda-Kigali.pdf>. Acessado em 27/02/2024.

Santos, Alexandre. Gaspar, Pedro; Souza, Heraldo J. L. de. **Evaluating the Energy Efficiency and Environmental Impact of COVID-19 Vaccines Coolers through New Optimization Indexes: Comparison between Refrigeration Systems Using HFC or Natural Refrigerants**. Processes 2022, 10(4), 790; <https://doi.org/10.3390/pr10040790>. Publicado em 17/04/2022.

Santos, Alexandre; et al. **INNOVATIVE HYBRID GEOTHERMAL/AIR HEAT SYSTEM FOR BIOGAS PRODUCTION**. Journal of Engineering Research, v. 3, p. 2-12, DOI:10.22533/at.ed.3173272314081. 2023.

Webarcondicionado. **História dos fluidos refrigerantes da origem ao cenário atual**. Disponível em <https://www.webarcondicionado.com.br/historia-dos-fluidos-refrigerantes-da-origem-ao-cenario-atual>. Acessado e, 26/02/2024.

AUTOMAÇÃO DE TORRES DE ARREFECIMENTO COM O USO DE SET POINT FLUTUANTE COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Data de aceite: 01/03/2024

Alexandre Fernandes Santos

Universidade Beira Interior, Covilhã,
Portugal
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Darlo Torno

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Daiane Busanello

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Fabio Francisco Ferreira

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Heraldo José Lopes de Souza

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Natalia Tinti

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Márcia Cristina de Oliveira

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Sandro Adriano Zandoná

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Eliandro Barbosa de Aguiar

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

RESUMO: Este trabalho tem como foco apresentar os estudos realizado em uma determinada indústria que possui um sistema de climatização com condensação a água, onde há uma Central de Água de Condensação que possui um total de seis torres de arrefecimento. O foco deste estudo é apresentar a melhoria na eficiência energética do sistema aplicando um novo conceito de automação que chamamos de “Set Point Modulante para Torres de Arrefecimento”. O sistema “tradicional” possui apenas uma opção de temperatura de saída de água das torres de arrefecimento, porém, nos dias em que as condições climáticas sejam favoráveis, há como diminuir a temperatura de saída da água das torres assim fazendo com que os resfriadores de líquidos (chillers) tenham um aumento de performance, refrigerando mais e consumindo menos energia, aumentando assim seu Coeficiente de Performance (COP). Com esta modulação na temperatura de Set Point, em dias com

menor temperatura de bulbo úmido no ar externo é possível diminuir até 8°C (diminuindo dos atuais 28°C para 20°C) a temperatura de saída da água das torres (temperatura limite para entrada de água de condensação nos chillers existentes). Em média o Coeficiente de Performance (COP) dos Chillers melhora 2% para cada 1°C de diminuição da temperatura da água que sai das torres de arrefecimento, como estamos propondo diminuir (quando possível) a temperatura da água para 8°C, em determinados momentos o sistema terá um aumento de rendimento de 16%. Segundo os estudos desenvolvidos, o ganho com implementação desta automação será uma economia de energia elétrica de aproximadamente 682.300 kW por ano.

PALAVRAS-CHAVE: Torres de Arrefecimento, Coeficiente de Performance, Eficiência Energética, Economia de Energia.

ABSTRACT: This work focuses on presenting studies carried out in a specific industry that has an air conditioning system with water condensation, where there is a Condensation Water Plant that has a total of six cooling towers. The focus of this study is to present the improvement in the system's energy efficiency by applying a new automation concept that we call "Modulating Set Point for Cooling Towers". The "traditional" system has only one option for the water outlet temperature from the cooling towers, however, on days when the weather conditions are favorable, it is possible to reduce the water outlet temperature from the towers, thus making that liquid coolers (chillers) have an increase in performance, cooling more and consuming less energy, thus increasing their Coefficient of Performance (COP). With this modulation in the Set Point temperature, on days with a lower wet bulb temperature in the external air it is possible to reduce the water outlet temperature from the towers (limit temperature for entry) by up to 8°C (reducing from the current 28°C to 20°C). of condensation water in existing chillers). On average, the Chillers' Coefficient of Performance (COP) improves by 2% for every 1°C decrease in the temperature of the water leaving the cooling towers, as we are proposing to reduce (when possible) the water temperature to 8°C, at certain times the system will have a 16% increase in performance. According to the studies developed, the gain from implementing this automation will be electrical energy savings of approximately 682,300 kW per year.

KEYWORDS: Cooling Towers, Coefficient of Performance, Energy Efficiency, Energy Saving.

INTRODUÇÃO

Atualmente no mercado existem diversos tipos de equipamentos e tecnologias diferenciadas para promover o processo de climatização de ambientes. Um dos modelos muito usados, principalmente em indústrias é o sistema de expansão indireta. Este sistema consiste na concepção de ter um equipamento responsável por resfriar um fluido intermediário, esse equipamento é conhecido como "Resfriador de Líquidos" ou Chiller. O fluido intermediário na maior parte das aplicações é água, e em alguns casos específicos essa água recebe um aditivo que tem função anticongelante (propileno glicol é o mais recomendado), isso irá depender da aplicação. Esta água resfriada a uma temperatura próxima de 7°C é bombeada até os intercambiadores de calor que atendem os ambientes, esses equipamentos são denominados "Fancoils" (Manfredini et al, 2020).

Levando em consideração que normalmente esses equipamentos possuem grandes capacidade frigoríficas, e conseqüentemente um elevado consumo de energia, há uma busca incessante para promover melhorias do quesito eficiência energética desses sistemas. Os equipamentos que possuem o maior consumo de energia de todo o sistema são os *Chillers*. Estes equipamentos possuem os compressores que são responsáveis por este alto consumo de energia elétrica, e com o foco de melhorar o rendimento (também a confiabilidade do sistema dentre outras vantagens) dessas máquinas desenvolveu-se uma tecnologia que ao invés dos equipamentos rejeitarem o calor para o ambiente externo através da troca de calor direta com ar (forçando o ar a passar através da serpentina do condensador) circula-se água no trocador de calor do condensador, dissipando assim o calor na água, as vantagens de realizar este processo é que a água entra no condensador normalmente à uma temperatura inferior a temperatura do ar externo, conseguindo assim diminuir a temperatura de condensação do fluido refrigerante diminuindo as taxas de compressão do equipamento que conseqüentemente leva a uma melhoria do COP (Coeficiente de Performance) fazendo com que a máquina aumente sua capacidade frigorífica e ainda reduza o consumo de energia elétrica (Santos et al, 2019).

Para que o uso dos equipamentos com condensação seja possível é necessário acrescentar ao sistema Torres de Arrefecimento e bombas para circular a água entre as torres e os condensadores dos *Chillers*. As torres de arrefecimento são equipamentos que possuem por finalidade rejeitar o calor contido na água que circula através dos condensadores dos equipamentos de climatização, desta forma, diminuindo sua temperatura a ponto de conseguir resfriar os condensadores dos equipamentos novamente, em ciclo contínuo. A forma que as torres conseguem realizar a diminuição da temperatura da água é através do princípio de evaporação, conforme uma porcentagem da água que circula pela torre é evaporada há uma diminuição da temperatura do restante da água que circula pela torre. Em média, de 1 a 3% de toda a água que circula em torres de resfriamento (do tipo aberta, que é o modelo em que o estudo se baseia) é evaporada, sendo assim, há uma necessidade constante de reposição desta água (Manfredini et al, 2020).

A limitação da temperatura de saída da água das torres de arrefecimento está a atrelada temperatura de bulbo úmido do ar externo na admissão de ar e ao *Approach* da torre. O *Approach* é a capacidade que a torre de arrefecimento tem de se aproximar da temperatura de bulbo úmido, por exemplo: Se a torre tiver um *Approach* de 6°C, quando a temperatura de bulbo úmido do ar externo estiver em 25°C a temperatura da água será de 31° ou mais, caso a temperatura de bulbo úmido diminua para 15°C, a temperatura de saída desta água poderá chegar 21°C, sempre respeitando o seu *Approach* de 6°C (Garcia et al, 2020).

Outro fator de extrema importância quando se é falado em torres de arrefecimento é o “Salto Térmico”, que nada mais é que o diferencial de temperatura que a torre foi projetada para ter entre a entrada de água e a saída de água da torre, que deve ser

equivalente ao diferencial de temperatura dos equipamentos que a mesma atende. Por exemplo: se a torre foi projetada para ter um salto térmico de 10°C, quando a água entrar 45°C essa torre conseguirá fazer com que a água saia a temperatura de 35°C, importante ressaltar que o Salto Térmico também está limitado ao *Approach* 6°C (Garcia et al, 2020). Como a temperatura que a água arrefecida pelas torres de resfriamento está ligada diretamente a eficiência e consumo de energia dos Chillers, é possível afirmar que quanto maior a temperatura desta água, maior será o consumo do equipamento, e ao contrário também, quanto menor a temperatura desta água, menor será o consumo de energia do equipamento(Garcia et al, 2020).

Segundo a agência de energia do Governo da Índia, a cada 1 °C de acréscimo na temperatura da água da Torre, pode significar um acréscimo de 2,7% na energia do Chiller (Beeindia, 2023).

Um artigo recente da revista Suíça *Energies* esclarece que uma redução de 8,1 °C gerou aumento no COP (coeficiente de performance) de 20,1 % (aproximadamente 2,5% por °C de redução) (Kim et al, 2021).

Segundo o relatório divulgado pelas Nações Unidas, o acréscimo de 1 °C na temperatura entrada de água de condensação no Chiller pode gerar uma economia de 2 a 4%, e que a temperatura de entrada de água no condensador deve ser o mais baixa possível.

TABELA 1: O IMPACTO DO AUMENTO DA TEMPERATURA NA EFICIÊNCIA AVAC-R
<p>Um sistema de refrigeração coleta o calor indesejado a uma temperatura baixa e transfere esse calor para o ambiente circundante a uma temperatura mais alta. O consumo de energia depende do aumento de temperatura entre o produto a ser resfriado e o ambiente – com um aumento de temperatura maior, mais energia deve ser utilizada. O que muitos proprietários de instalações de refrigeração não percebem é que o aumento da temperatura tem um impacto dramático na eficiência energética:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ O aumento extra de temperatura de 1°C adicionará 2% a 4% à energia usada por uma planta. <p>Através de um projeto deficiente ou de uma operação inadequada da planta, é fácil adicionar acidentalmente 10 ou 5 graus C extras ao aumento de temperatura – o que pode adicionar 20% a 40% ao consumo total de energia. Para o aumento de temperatura de um sistema AVAC-R é importante que:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A "extremidade fria" (o evaporador) deve estar na temperatura mais alta possível; ■ A "extremidade quente" (o condensador) deve estar na temperatura mais baixa possível.
<p>Consumo de energia para sistemas que falham em condições de alta temperatura ambiente (ATA)</p> <p>Os sistemas de refrigeração e ar condicionado utilizados em países muito quentes geralmente utilizam mais energia do que sistemas equivalentes em países mais frios, porque:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A carga de resfriamento é maior para um determinado tamanho de edifício, e especialmente em condições de alta umidade. ■ O aumento de temperatura é maior porque a "extremidade quente" da planta rejeita calor em uma temperatura ambiente muito mais alta. <p>Estes dois impactos levam a um consumo de energia consideravelmente maior para sistemas refrigerantes e de ar condicionado nos países ATA.</p>

Tabela 1- O Impacto do Aumento da Temperatura na Eficiência Energética AVAC-R

Fonte: Unep; Theengineeringmindset, 2023.

MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nas pesquisas desenvolvidas, ficou clara a informação de que uma das formas de melhorar desempenho dos equipamentos é diminuir a temperatura de saída da água das torres de arrefecimento.

Uma determinada indústria de Curitiba tinha como meta melhorar a eficiência energética de seu sistema, e baseado nos equipamentos desta indústria foi desenvolvido um estudo, e o foco é justamente atuar na temperatura que a água sai das torres e entra no condensador dos chillers, assim começou-se o estudo.

O sistema desta indústria é composto por uma “Central de Água Gelada” com quatro Chillers e a capacidade de resfriamento total de é de 2.250 TRs (toneladas de Refrigeração). Esses equipamentos todo são do tipo condensação a água e estão interligados a um circuito com um total de seis torres de Arrefecimento da marca AlfaTerm que juntas possuem uma capacidade de resfriamento superior a 5.000 TR, essa capacidade superior se deve ao fato de que as torres também atendem a outros equipamentos que não fazem parte deste estudo.

Essas torres são todas do modelo: ASP 240D/5/30/4 – BGA, dimensionadas para uma vazão de água de 525 m³/h, *Approach* de 5,5 °C, salto térmico também de 5,5°C e capacidade frigorífica individual de 955 TRs.



Foto 1 – Placa de Identificação da Torre de Arrefecimento.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Levando em consideração que o *Approach* destas torres é de 5,5°C (conforme especificação do fabricante) e que a cidade de Curitiba (local onde as torres estão instaladas), segundo a ABNT NBR 16.401 possui uma temperatura de bulbo úmido máxima de 23,2°C

na frequência de 0,4% das horas do ano, não temos como diminuir a temperatura de saída da água da torre de forma definitiva, pois se programarmos o Set Point para temperaturas inferiores a 28°C a torre não conseguirá atender em todas as horas do ano.

Atualmente a temperatura que está programada no sistema para que as torres de resfriamento alimentem os chillers é de 28°C, mas na maior parte das horas do ano, a temperatura de bulbo úmido está abaixo destes 23°C, ou seja, por causa das 0,4% das horas do ano, estamos enviando água mais quente para os chillers durante as outras 99,6% das horas no ano.

A solução encontrada foi desenvolver um sistema de automação que monitore constantemente as variações de temperatura de bulbo seco e que controle as torres de arrefecimento de forma que consiga enviar água na temperatura mais baixa possível para os condensadores dos chillers, extraindo o máximo de eficiência possível dos equipamentos, importante ressaltar que segundo o fabricante dos equipamentos, não é recomendado entrar com a água nos condensadores com temperatura inferior a 20°C. Desta forma podemos variar a temperatura da água entre 20 e 28°C, assim é possível sempre trabalhar no melhor ponto de eficiência dos equipamentos.

Para analisar a viabilidade técnico econômica de implantar essa automação o primeiro passo foi desenvolver o projeto para saber os custos e dificuldade de implantação do sistema. Os principais componentes para tornar essa automação possível são um painel de automação com dimensões de 0,8 m de largura, 0,7 m de altura e 0,30 m de profundidade, dentro deste painel haverá um CLP Marca Allen Bradley da linha CompactLogix, uma fonte, 10 cartões com entradas e saídas digitais e analógica para enviar e receber sinais dos periféricos (sensores, transmissores, conversores de frequência etc). Foi necessária a utilização de seis conversores de frequência (um para cada motor do ventilador, sendo que há um destes em cada torre de arrefecimento) da marca ABB modelo ACS580 que ficaram localizados internamente nos painéis elétricos existentes, pois havia espaço dentro dos gabinetes existentes. Também foram necessários sensores de Temperatura de bulbo úmido para o ar externo próximo a admissão do ar das torres de arrefecimento, e mais alguns sensores de temperatura e pressão da água no interior da rede hidráulica em diversos pontos estratégicos. Foram necessários mais alguns componentes para operação do sistema (Como infraestrutura de cabeamento elétrico, conversor de protocolo de comunicação etc) mas os principais componentes foram os anteriormente mencionados. O custo total de Obra (Material e mão de obra) ficou em aproximadamente R\$ 732.000,00 com prazo de execução de 90 dias devido ao prazo de entrega dos componentes do sistema.

O segundo passo foi analisar qual será a redução no consumo de energia elétrica dos equipamentos, para o início deste cálculo foi utilizado o Software Ashrae Weather Data Viewer (esse software mostra as informações das propriedades do ar como temperatura e umidade ao longo das 8.760 horas do ano, assim permitindo saber qual a temperatura de bulbo úmido de cada hora do ano) para mensurar o número de horas por ano que seria

possível diminuir a temperatura da água e trabalhar abaixo do *SetPoint* atual. Com base nos dados fornecidos pelo Software, será possível reduzir a temperatura da água em 7.921 horas no ano (de um total de 8.760 horas).

O terceiro passo foi mensurar qual o consumo de energia elétrica do sistema existente e qual seria o novo consumo de energia elétrica ao longo do ano conforme a variação de temperatura de bulbo úmido.

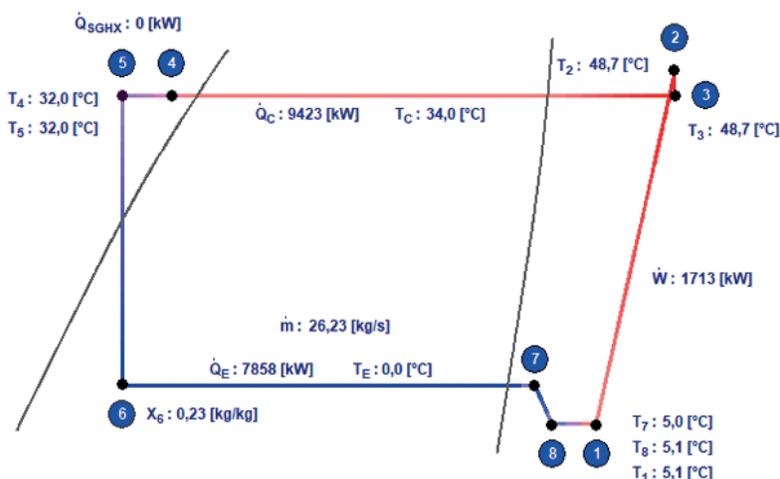


Figura 1 – Simulação com Temperatura de Condensação de 32°C.

Fonte: Software Cool Pack, 2024.

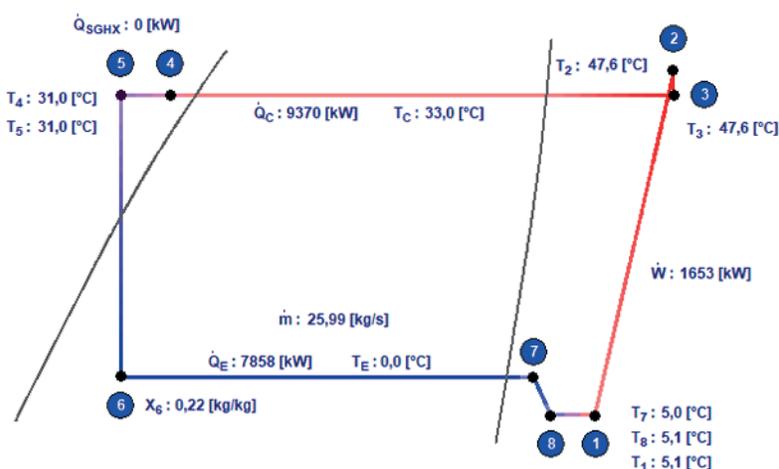


Figura 2 – Simulação com Temperatura de Condensação de 31°C.

Fonte: Software Cool Pack, 2024.

ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os dados de Capacidade frigorífica e consumo de energia dos equipamentos foram inseridos em um software de simulações termodinâmicas e energéticas. Com base nas simulações realizadas através do Software Cool Pack, pode-se observar que para cada 1°C que diminui a temperatura de condensação dos equipamentos (como o diferencial de temperatura entre a condensação e água que entra no condensador é fixo, cada 1°C a menos a temperatura da água o sistema terá 1°C a menos na temperatura de condensação), há uma redução de 60 kW por hora no consumo de energia elétrica, isso representa uma redução de aproximadamente 3,5%. E com base nesta informação associada aos dados de temperatura de bulbo úmido fornecidos pelo Software *Ashrae Weather Data Viewer* é possível mensurar a economia de energia elétrica ao longo dos meses, trimestres e até a redução anual.

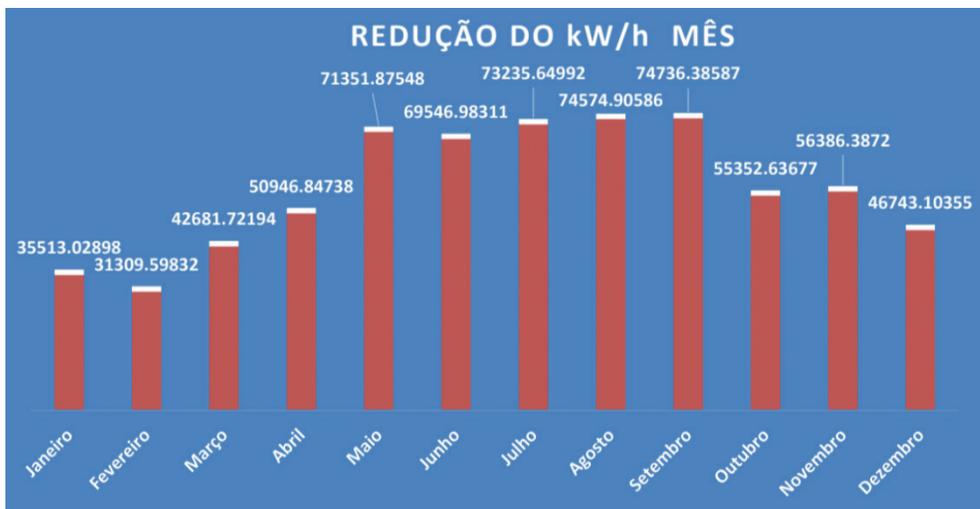


Gráfico 1 – Redução do Consumo de Energia Elétrica por Mês.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

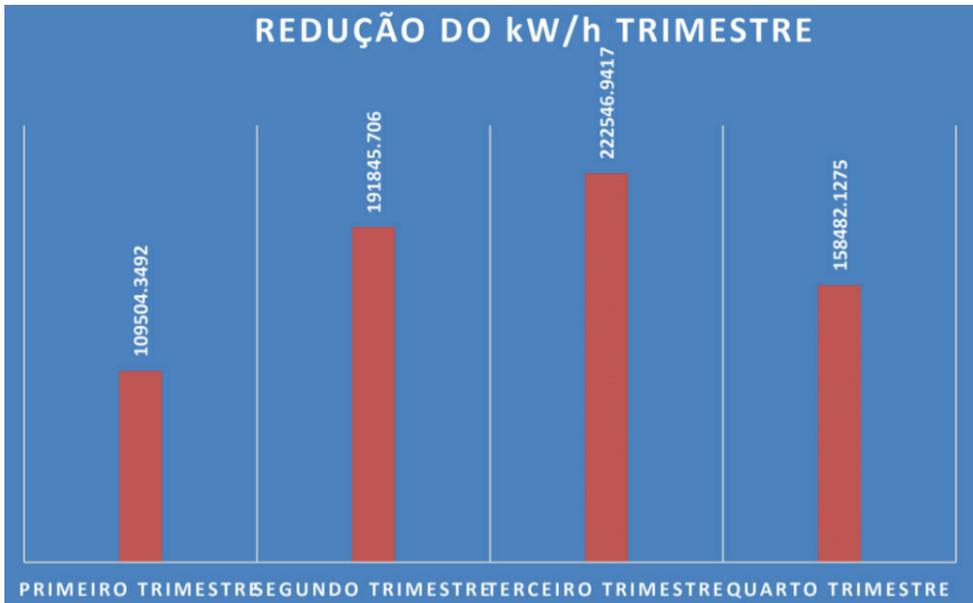


Gráfico 2 – Redução do Consumo de Energia Elétrica por Trimestre.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Com base nas simulações realizadas, haverá uma economia de aproximadamente 682.379,12 kW por ano no consumo de energia elétrica dos chillers. O valor atualmente pago no kWh por esta indústria é de R\$ 0,50, sendo assim o valor economizado por ano com a implantação deste projeto de automação é de R\$ 491.189,56 por ano. Levando em consideração que o custo da obra é de R\$ 732.000,00, o investimento se pagará em apenas 17,9 meses, arredondando dará 1 ano e meio para pagar o investimento apenas com a economia que será gerada com a redução no consumo de energia elétrica.

CONCLUSÃO

Com base nos estudos e análises desenvolvidos podemos concluir que a opção de elaborar e executar um projeto para monitoramento constante da temperatura de bulbo úmido do ar externo e assim modular o Set Point das Torres de Arrefecimento é viável tanto nos quesitos técnicos quanto nos quesitos econômicos.

Conforme demonstrado anteriormente o custo para adequar o sistema existente a essa nova automação é de aproximadamente R\$ 732.000,00. A redução do consumo de energia será de aproximadamente 682.379,12 kW por ano. Indústria que serviu de base para todo este estudo paga atualmente R\$ 0,5 no kWh, sendo assim a redução será de R\$ 791.189,56 por ano, ou seja, o investimento se paga em apenas 1 ano e meio (18 meses).

REFERÊNCIAS

MANFREDINI, C., & SILVA, R. A. *Sistemas de refrigeração industrial: conceitos e aplicações do sistema de expansão indireta*. Revista: Engenharia Industrial Volume: 15 Número: 2 Páginas: 45-58 Ano: 2020

SANTOS, J. R., & SILVA, A. B. *Tecnologia de resfriamento por água para compressores de alta eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial* Revista: Energia e Sustentabilidade Volume: 8 Número: 3 Páginas: 112-125 Ano: 2019

GARCÍA-HERNANDO, N., DÍAZ, M., PALOMO, A., GONZÁLEZ-CAMARGO, L., & FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S. *Effect of Wet Bulb Temperature on Cooling Tower Performance in Climatic Conditions of Western Spain*. Revista: Energies Volume: 13 Número: 16 Páginas: 4235 Ano: 2020

Bureau of Energy Efficiency (BEE). Chapter 7: Cooling Tower. Acessado: <https://www.beeindia.gov.in/sites/default/files/3Ch7.pdf>. Ano: 2024

KIM, Y.-J.; HA, J.-W.; PARK, K.-S.; SONG, Y.-H. A Study on the Energy Reduction Measures of Data Centers through Chilled Water Temperature Control and Water-Side Economizer. *Energies* 2021, 14, 3575.

EVANS, PAUL. Improve Chiller Efficiency. Disponível em: <<https://theengineeringmindset.com/improve-chiller-efficiency/>>. Acessado: 29/02/2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Briefing note b potential to improve the energy efficiency of refrigeration air-conditioning and heat pumps. Disponível em: https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/briefingnote-b_potential-to-improve-the-energy-efficiency-of-refrigeration-air-conditioning-and-heat-pumps.pdf. Acessado: 29/02/2024

A IMPORTÂNCIA DA RENOVAÇÃO DO AR EM AMBIENTES INTERNOS: ABORDANDO SAÚDE, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

Data de aceite: 01/03/2024

Alexandre Fernandes Santos

Universidade Beira Interior, Covilhã,
Portugal.
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Eliandro Barbosa de Aguiar

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Darlo Torno

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Daiane Busanello

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Fabio Francisco Ferreira

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Heraldo José Lopes de Souza

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Natalia Tinti

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Márcia Cristina de Oliveira

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Sandro Adriano Zandoná

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

RESUMO: O artigo aborda a importância da renovação de ar em ambientes fechados para garantir a qualidade do ar interior e prevenir a Síndrome do Edifício Doente (SED). Normas e regulamentações estabelecem parâmetros para a qualidade do ar, e a utilização de sistemas de ar-condicionado com renovação de ar é fundamental para atender a esses requisitos. Um estudo de caso em uma sala de aula demonstrou os benefícios da utilização de recuperadores de calor, que reduzem a carga térmica necessária e o consumo de energia. Conclui-se que essas medidas são essenciais para promover a eficiência energética e o conforto térmico dos ocupantes dos edifícios, contribuindo para a saúde e o bem-estar das pessoas e para a sustentabilidade do setor de construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Renovação de ar, Síndrome do Edifício Doente (SED), Recuperador de calor

ABSTRACT: The article addresses the importance of air renewal in enclosed spaces to ensure indoor air quality and prevent Sick Building Syndrome (SBS). Standards and regulations establish parameters for air quality, and the use of air conditioning systems with air renewal is essential to meet these requirements. A case study in a classroom demonstrated the benefits of using heat recovery systems, which reduce the required thermal load and energy consumption. It is concluded that these measures are essential to promote energy efficiency and thermal comfort for building occupants, contributing to people's health and well-being and the sustainability of the construction sector.

KEYWORDS: Air renewal, Sick Building Syndrome (SBS), Heat recovery.

INTRODUÇÃO

Em projetos de climatização é fundamental considerar a adição de ar externo para ambientes fechados como escritórios, escolas, hospital, shoppings, entre outros. Uma das principais necessidades é evitar problemas de saúde, sendo que a *The American Society for Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering (ASHRAE)* estabelece que se um edifício estiver com mais de 20% de pessoas com sintomas de alguma doença ou desconforto ao estar expostos a este ambiente, o ambiente é considerado como uma edificação que se enquadra como Síndrome do Edifício Doente (SED).

Segundo Teixeira (2005) a falta de renovação de ar em ambientes fechados provoca o acúmulo de poluentes químicos (monóxido e dióxido de carbono, dióxido de enxofre, formaldeído, amônia, entre outros) e biológicos (fungos, algas, protozoários, bactérias, ácaros), tornando assim o ar perigoso para a saúde humana, sendo um fator de risco para pessoas com doenças respiratórias. Portanto, a falta de circulação de ar renovado irá fazer que este ambiente seja um local propício para a disseminação de doenças respiratórias. O ambiente com alto índice desses poluentes fazem parte do SED, onde a Organização Mundial de Saúde (OMS) reconheceu este problema em 1982.

Na década de 70, conforme explica Graf (2018), uma crise energética se alastrou globalmente devido a conflitos entre os países exportadores de petróleo do Oriente Médio. Como consequência o petróleo sofreu uma redução na produção e um aumento de valor que chegou a 400% em sua cotação no ano de 1973. Neste mesmo período, os engenheiros da época buscando alternativas de reduzir o consumo de energia elétrica, começaram a reduzir drasticamente a taxa de ar externo de edificação e devido a esta a atitude começou-se a ter os primeiros relatos da SED (MARTÍNEZ; CALLEJO, 2006).

No contexto nacional, o Ministério da Saúde do Brasil publicou em 08 de agosto de 1998 a PORTARIA N°3523 (BRASIL, 1998) a qual define importantes valores e definições para manter a qualidade de ar interno (QAI) como descrito Art. 4° a Síndrome do Edifício Doente: *consiste no surgimento de sintomas que são comuns à população em geral, mas que, numa situação temporal, pode ser relacionado a um edifício em particular. Um incremento substancial na prevalência dos níveis dos sintomas, antes relacionados,*

proporciona a relação entre o edifício e seus ocupantes e ainda no Art. 5º pode-se citar a necessidade imposta pela portaria de atender um nível mínimo de ar de renovação, sendo de 27m³/h/pessoa, e uma filtragem mínima de classe grossa (G1)

Em 1984, a OMS estimou que até 30% dos edifícios poderiam estar afetados com a SED. No início década de 80, o conceito da SED estava correlacionado a problemas ao ambiente, onde a Tabela 1 mostra alguns dos principais sintomas associados a SED. No entanto, o conceito evolui e incluiu aspectos psicológicos, implicações econômicas, economia de energia e mudanças climáticas (ISRAELI; PARDO, 2011).

Sintomas relacionado ao trabalho	Ocorrência (%)
Letargia	57
Nariz trancado	47
Garganta seca	46
Dor de cabeça	43
Coceira nos olhos	28
Olhos secos	27
Nariz escorrendo	23
Gripe	23
Dificuldade de respiração	9
Dor no peito	9

Tabela 1 – Sintomas associados a SED. Fonte: (ISRAELI; PARDO, 2011)

Brasche (2001) concluiu que mulheres sofrem mais com SED ao se comparar com os homens, pois de todas as mulheres presentes no estudo, 44,3% sofrem com doenças relacionadas ao SED, enquanto apenas 26,2% do total dos homens enfrenta este tipo de problemas, tal como é apresentado na Tabela 2. No entanto, essa diferença percentual entre gêneros ocorre devido a posição dentro da empresa, no mesmo estudo, quando homens e mulheres estão em ambientes com a mesma QAI, as taxas de ocorrência da SED são mais elevadas em mulheres.

		Mulheres		Homens	
		n = pessoas	%	n = pessoas	%
SED	Com sintomas	393	44.3	151	26.2
	Sem Sintomas	495	55.7	426	73.8
	Total	888	100	577	100

Tabela 2 Diferenças relacionadas ao gênero no SED. Fonte: (BRASCHE, 2001)

Por outro lado, o Ministério da Saúde publicou em janeiro de 2003 a RESOLUÇÃO RE N°09 (BRASIL, 2003), a qual apresenta informações complementares da PORTARIA N° 3.523/98. Uma das definições apresentadas na RE-09 é o conceito de ar-condicionado, que corresponde ao processo de tratamento do ar, destinado a manter os requerimentos de QAI do espaço condicionado, controlando variáveis como a temperatura, umidade, velocidade, material particulado, partículas biológicas e teor de dióxido de carbono (CO₂).

Assim como as definições, a RE N°09 também apresenta alguns parâmetros de valores máximos recomendáveis destinados a contaminação microbiológica, o qual é 750 ufc/m³ (Unidade Forma de Colônia/metro cúbico), e da contaminação química sendo seu valor 1000 ppm para a concentração do dióxido de carbono (CO₂) e 80 µg/m³ de aerodispersóides. Além destes parâmetros, tem-se as faixas recomendáveis de operação em relação à temperatura, umidade, velocidade do ar, taxa de renovação de ar e grau de pureza do ar que devem estar de acordo a Norma Brasil de Regulamentação – NBR 16401-3 – Qualidade do ar Interior (ABNT, 2008). Levando em consideração as informações apresentadas pela PORTARIA N°3523, a RE N°09 teve uma atualização do parâmetro de vazão de ar externo onde a taxa de renovação do ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27 m³/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas. Nestes casos, a taxa de renovação do ar mínima será de 17 m³/hora/pessoa, não sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO₂, maior ou igual a 1000 ppm.

Um ponto importante para controlar a QAI é manter os equipamentos em plena operação e para isto foi necessário a criação de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC). No Brasil, a Casa Civil publicou a Lei N°13.589 de janeiro de 2018 (BRASIL, 2018), que obriga a edifícios públicos e coletivos a manterem o PMOC ativo, garantindo assim as faixas estabelecidas para uma boa QAI.

Para a definição da vazão de ar externo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) padronizou na NBR 16401-3 (ABNT, 2008) uma metodologia diferente da RE-09 e da PORTARIA N°3523, que determina a vazão eficaz de ar externo através da equação (1):

$$V_{ef} = P_z \cdot F_p + A_z \cdot F_a \quad (1)$$

Onde:

V_{ef} = É a vazão de ar eficaz referente ao ar exterior, expressa em litros por segundo (l/s);

F_p = é a vazão de ar por pessoa, expressa em litros por segundo (l/s*pessoa);

F_a = é a vazão de ar por área útil ocupada (l/s*m²);

P_z = é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;

A_z = Área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m²);

Os valores a serem adotados na equação (1) estão na NBR 16401-3 – Qualidade do ar interior (ABNT, 2008).

Apenas ampliar a renovação de ar em edificações sem o tratamento adequado não resolve todos os problemas relacionados à QAI. De acordo com Che et al. (2019), essa metodologia pode gerar um aumento na umidade interna, que pode incrementar substancialmente o potencial de crescimento microbiológico, assim como o acréscimo da ventilação pode aumentar a concentração de poluentes no ambiente. No entanto, essa prática de aumentar a taxa de renovação de ar estabeleceu-se entre os projetistas, principalmente após do início da pandemia (ABRAVA, 2021). As recomendações de ar externo são estipuladas a cada tipo de projeto, onde projetistas buscam aumentar a taxa de ar externo ao máximo permitido de acordo com a NBR 16401-3 – Qualidade do ar interior (ABNT, 2008), além do sistema proporcionar o controle de temperatura, umidade e filtragens específicas para a condição do ambiente em questão, e para isso, caso seja necessário, considerar a utilização dos recuperadores de calor como rodas entálpicas, pois estes conseguem prover uma economia de energia à edificação.

De acordo com Pargeter (2012), o consumo de energia demandado pelas práticas convencionais de tratamento de ar para climatizar edifícios comerciais, representam uma média de 10% de toda a energia gasta nos Estados Unidos. O autor também observou que uma grande parte do consumo de energia para climatizar esses prédios comerciais se deve a renovação de ar, pois trata-se de uma condição totalmente diferente das condições internas de conforto. Além do consumo de energia elétrica, quanto maior for a taxa de renovação de ar, maiores serão os sistemas centrais de tratamento ar, e conseqüentemente, maiores serão os investimentos e custos de manutenção desse sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC).

Além de ser importante para a saúde, a renovação de ar tem seus impactos térmicos. Como exemplo disto, pode-se considerar um teatro localizado na cidade de Atlanta, que possui uma carga térmica de fator de calor sensível de 75%, a carga térmica do ar externo pode significar até 50% do total da carga térmica, ou seja, o ar externo para locais mais ocupados tem fator predominante na carga térmica e no consumo de energia de um sistema de ar-condicionado (KOSAR et al., 1998).

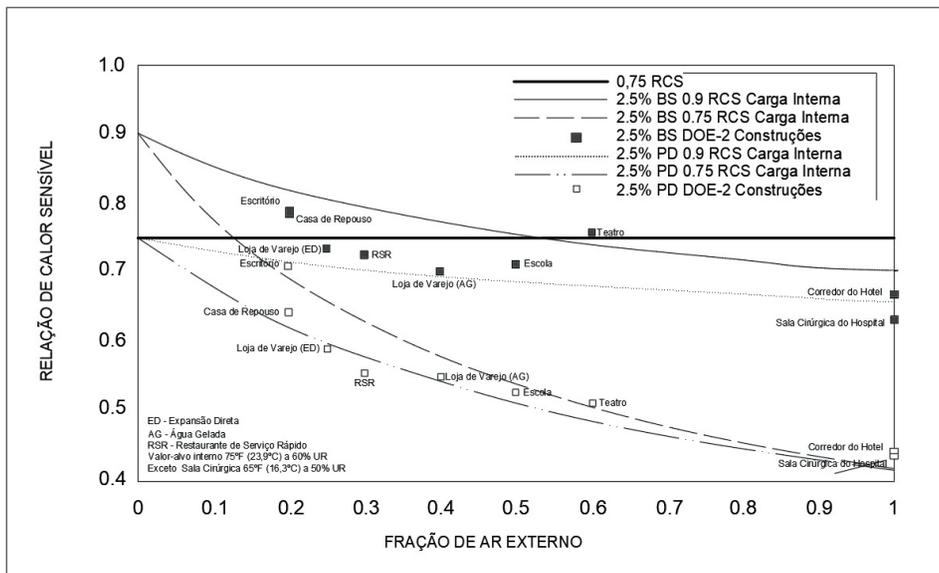


Figura 1 – Condições do ar externo do fator de calor sensível para a cidade de Atlanta.

Fonte: Adaptado de (KOSAR et al., 1998)

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2018), no Brasil o consumo de energia elétrica total previsto para 2050 será de 1.600.000 GWh, sendo que os dados de 2021 de consumo alcançaram a marca de 500.209 GWh (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021). Observa-se que na Figura 2 é possível identificar o consumo energético de diferentes setores no Brasil e a projeção até o ano 2050.

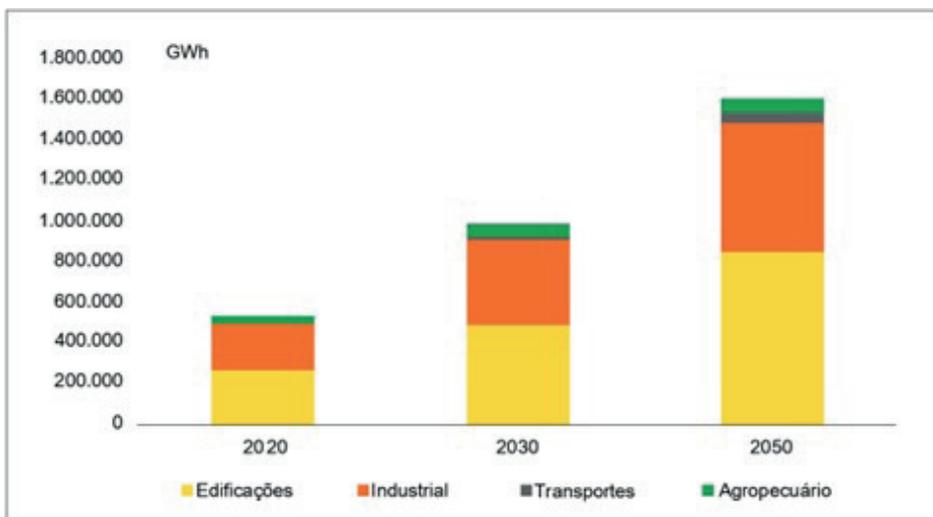


Figura 2 – Projeção de Consumo de energia elétrica setorial.

Fonte: Adaptado de (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018)

A Figura 3 mostra as parcelas responsáveis pelo consumo de energia para o ano de 2021, sendo que o setor de edificações representa aproximadamente 50% -sendo a soma dos setores residencial, comercial e público – levando esses dados para o setor de AVAC, como evidenciase na Figura 4, o consumo de energia elétrica despendido para o sistema de climatização pode representar até 40% da energia total das edificações, correspondentes ao 20,4% do consumo total de energia do país.

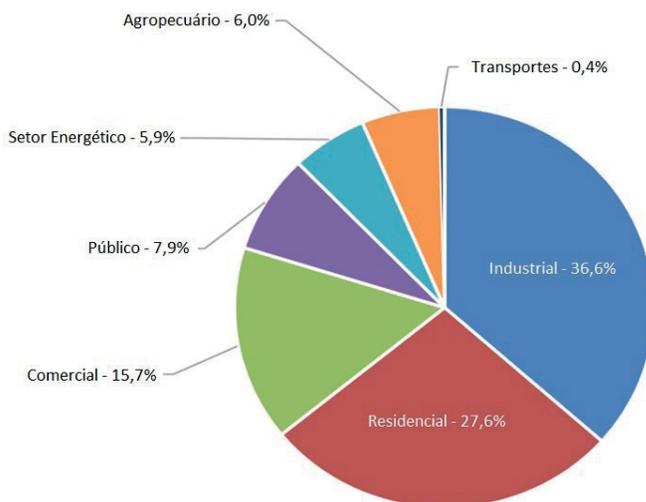


Figura 3 – Decomposição de consumo final de eletricidade em 2020.

Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL), 2021)

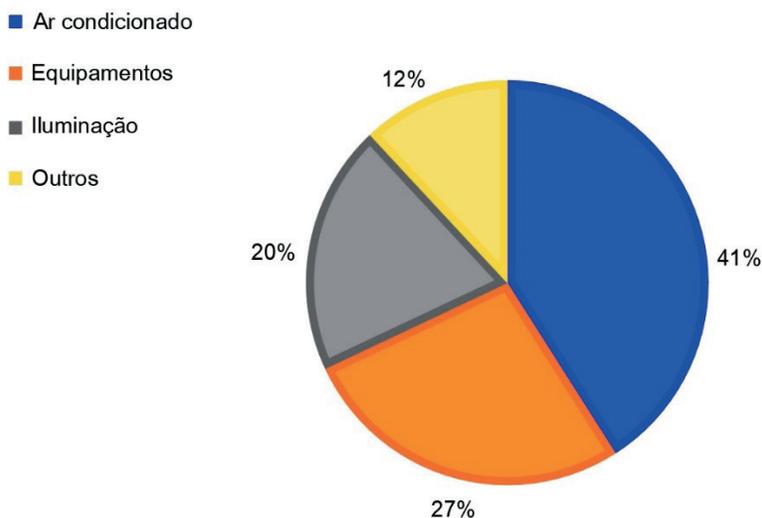


Figura 4 – Segregação do consumo de energia de uma edificação pública em Porto Alegre/RS.

Fonte: (TOMAZI; RODRIGUES; SCHNEIDER, 2020)

De acordo com International Energy Agency (IEA,2018), cerca de 2/3 das residências ao redor do mundo terão um aparelho de ar condicionado instalado até o ano de 2050. Outro dado apresentado demonstra a dimensão deste mercado, sendo que o estoque previsto para este mesmo período, representa a venda de 10 condicionadores de ar por segundo pelos próximos 30 anos. Existe uma expectativa que os sistemas de resfriamento de ar possam representar mais de 20% do crescimento da demanda de energia elétrica do mundo, considerando que não haja novas tecnologias mais eficientes para condicionamento do ar.

Segundo Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento ABRAVA (2022), o setor do ar-condicionado e refrigeração brasileiro representou um faturamento de cerca de R\$37,98 Bilhões no ano de 2021, sendo que o crescimento percentual foi de 9,8% em relação ao ano 2020, enquanto a expectativa de crescimento para o ano de 2022 é de 5,5%. A quantidade de ar-condicionado tipo Split que foram produzidos em 2021, ultrapassou 3,5 milhões de unidades. Este expressivo aumento de vendas no setor de AVAC resultará em um aumento do consumo de energia.

Desta forma, programas voltados a eficiência energética foram criados a fim obter melhores resultados quando se refere aos sistemas de ar-condicionado, aumento do ar de renovação, e o consumo de energia elétrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de minimizar os problemas relacionados a SED apresentados na Tabela 1, é necessário que seja projetado um sistema de ar-condicionado com renovação de ar, o qual deve atender as condições estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), indicadas na RESOLUÇÃO RE N°09 e/ou NBR 16401-3.

Com o objetivo de apresentar um estudo prático da aplicação da renovação de ar e a utilidade do recuperador de calor, foi elaborado um estudo de caso com duas simulações para uma sala de aula que obtém as seguintes características:

Tipo de Recinto: Sala de aula

Área total: 4.629 m²

Ocupação total em sala de aula = 1000 pessoas

Para se adequar a todas as legislações e normas brasileiras, é necessário confrontar os valores da RE N°09 e a NBR 16401-3. Considerando a RE N°09 e por se tratar de sala de aula, o valor a ser utilizado seria de 17 m³/h/pessoa e ao mesmo tempo por ser um recinto de grande rotatividade devido a quantidade de pessoas, a vazão mínima de ar externo seria de 17.000 m³/h.

Enquanto isso, pela NBR 16401-3, a vazão seria determinada pela Equação (1), onde os respectivos valores de P_z e A_z e para salas de aulas são 5 pessoas e 0,6

m², respectivamente. Desta forma consegue-se determinar que a vazão de ar eficaz é equivalente a $V_{ef} = 28.000\text{m}^3/\text{h}$.

Para este estudo de caso, quando confrontadas as metodologias de determinação de da vazão mínima necessária de ar externo, opta-se por seguir com a metodologia da NBR 16401-3 que entrega a maior vazão de ar entre as duas metodologias.

A ilustração da Figura 5 apresenta com clareza as parcelas da carga térmica que atuam sobre o ambiente de estudo e que devem ser consideradas para o levamento de carga térmica do local.

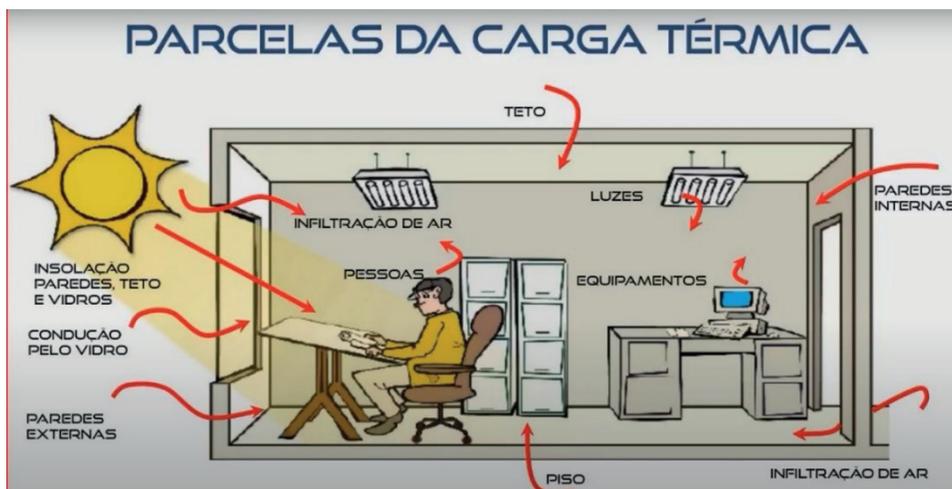


Figura 5 – Parcelas da carga térmica. Fontes: (HASHIM et al., 2019)

Uma vez apresentada as fontes de carga térmica que atuam sobre o ambiente de estudo e a carga térmica do ar de renovação quantificada em 73 Toneladas de Refrigeração (TR), a Figura 6 exemplifica o sistema de tratamento de ar externo com vazão de 28000 m³/h. Em seguida será apresentada as duas simulações propostas para o tratamento deste ar de renovação, sendo uma sem a utilização do recuperador de calor e com a utilização do recuperador de calor.

Método 1 – A unidade de tratamento de ar apresentada na Figura 6 é capaz de tratar toda a carga térmica do ar externo que será inserido ao ambiente. Este método não é econômico, pois trata-se o ar de renovação diretamente na unidade de tratamento de ar (UTA), sem nenhuma metodologia de economia de energia.

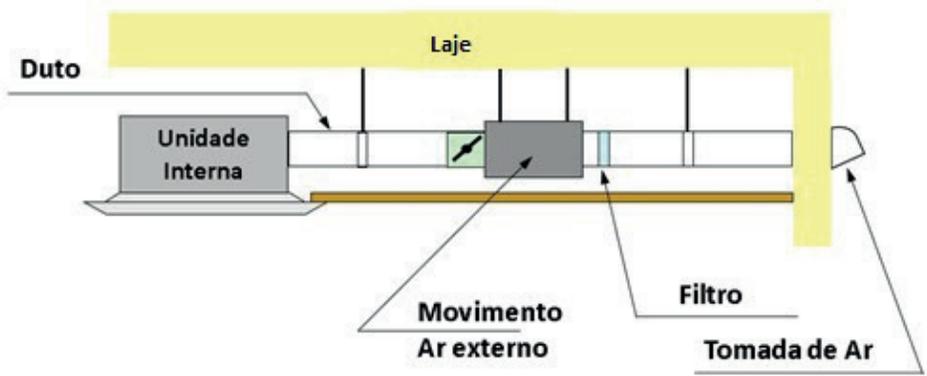


Figura 6 – Representação UTA com captação de ar externo: Fonte: Os Autores.

Método 2 – Alocar um recuperador de calor entálpico que aproveita a diferença de energia entre ar externo e interno antes da UTA. A Figura 7 representa apenas o sistema intermediário.

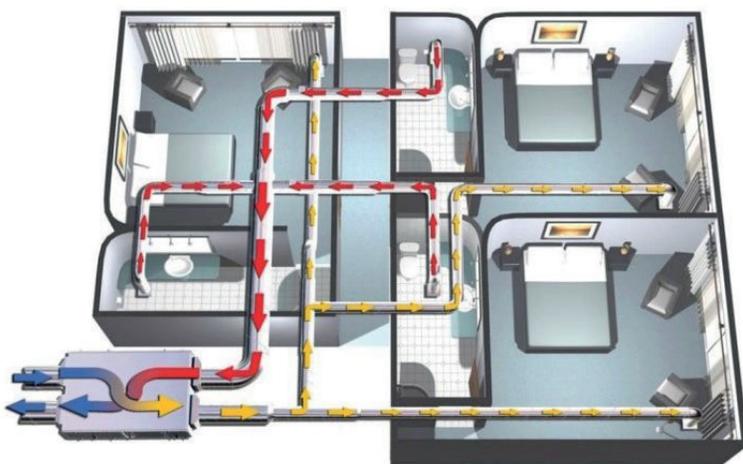


Figura 7 – Representação de um sistema de recuperação de calor em um ambiente. Fonte: (GEOTERMAL54, 2021).

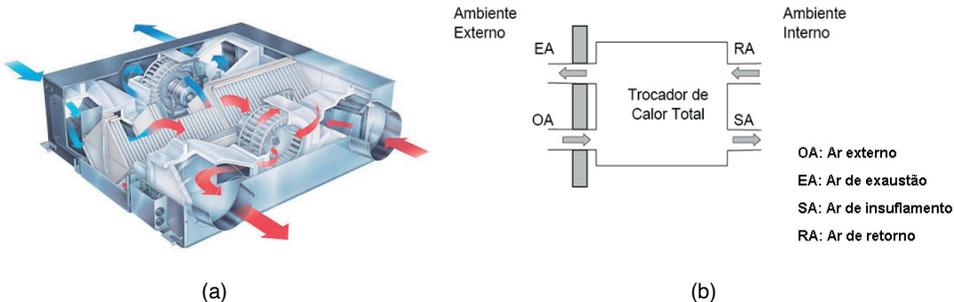


Figura 8 – (a) Recuperador de Trocador de calor de placas.

Fonte: (Lee, 2005)

(b) Pontos de entrada e saída de ar de um recuperador de calor.

Fonte: Os Autores

A Figura 8 (b) é apresentada com o objetivo de deixar mais claro o funcionamento do Recuperador de calor apresentado na Figura 8 (a).

A eficiência do trocador de calor é expressa de acordo com as equações 2 e 3, sendo que a equação 2 representa a Eficiência de troca de temperatura (sensível) e a equação 3 representa a eficiência de troca do calor total (entalpia).

$$n_t = \frac{t(OA) - t(SA)}{t(OA) - t(RA)} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$n_t = \frac{i(OA) - i(SA)}{i(OA) - i(RA)} \cdot 100\% \quad (3)$$

As premissas para o cálculo de carga térmica são dadas pela Tabela 3.

Condições Externas (AO):		Condições Internas (RA)	
Temperatura de Bulbo Seco (t)	35.1°C	Temperatura de Bulbo Seco (t)	24.0°C ± 1°C
Entalpia (i)	19 kcal/kg	Entalpia (i)	11.5 kcal/kg

Tabela 3 – Condições de psicrométricas.

Fonte: Os Autores.

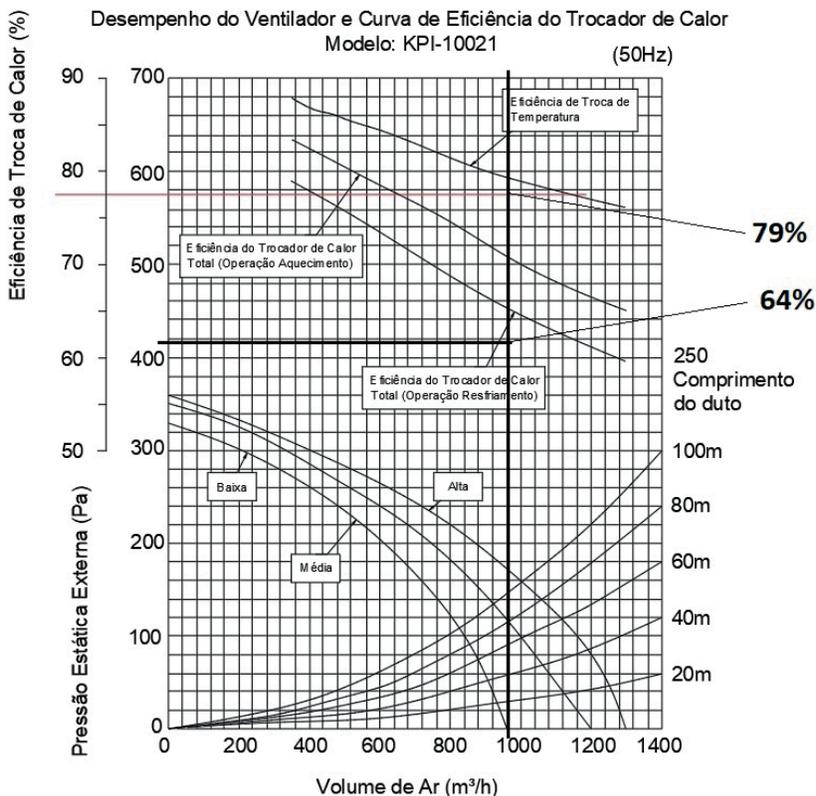


Figura 9 – Curva de performance do recuperador de calor.

Fonte: Adaptada de (HITACHI, 2009)

Utilizando as equações 2 e 3 e a curva de performance do recuperador de calor conforme Figura 9, consegue-se obter as condições de temperatura e entalpia do ponto de insuflamento do recuperador de calor. Desta forma, tem-se como resultado que a temperatura de insuflamento será equivalente a 26,55°C que pode ser observada na Figura 10 e a entalpia do ponto de insuflamento será de 14,2 kcal/kg conforme apresentada na Figura 11.

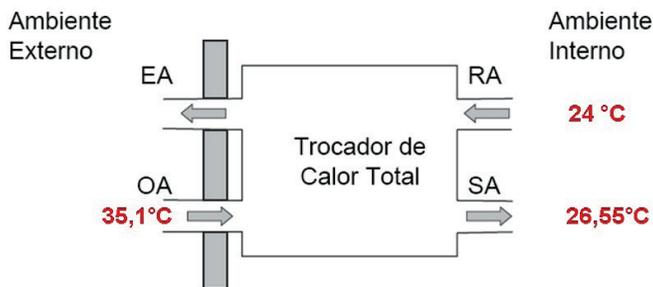


Figura 10 – Resultado da temperatura de insuflamento do recuperador de calor.

Fonte: Os Autores.

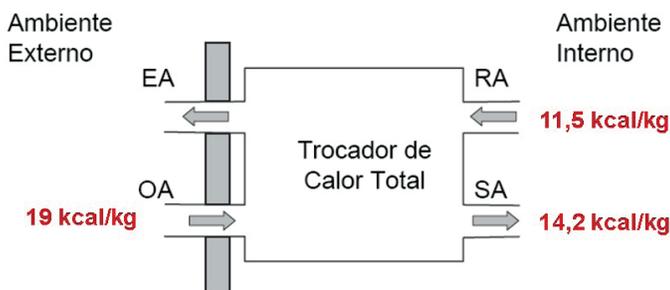


Figura 11 – Resultado da entalpia de insuflamento do recuperador de calor.

Fonte: Os Autores.

Com os dados apresentados, é possível quantificar através da equação (4) a capacidade de refrigeração economizada.

$$Q_T = V_{ef} \times 1,05 \times (i_{OA} - i_{SA}) \quad (4)$$

Onde,

Q_T = Carga térmica economizada

V_{ef} = 28000 m³/h

i_{OA} = 19 kcal/kg

i_{SA} = 14,2 kcal/kg

Sendo assim com a utilização da equação 4 e os dados apresentados acima, consegue determinar a carga térmica economizada.

$$Q_T = 28000 \times 1,05 \times (19 - 14,2)$$

Portanto, a carga térmica Q_T economizada pelo recuperador de calor será de 141.120 kcal/h ou aproximadamente 47 TR.

Aplicando os conceitos para determinar a carga térmica gerada e as premissas apresentadas no para este exemplo, será necessária uma carga térmica de 216TR para climatizar o ambiente utilizando o método 1, enquanto através do método 2, apenas adicionando o recuperador de calor ao sistema e seguindo os mesmos conceitos para determinar que a carga térmica para climatizar o ambiente, observa-se que no método 2 esta carga térmica será equivalente à 169 TR. Essa diferença é obtida justamente pela utilização do recuperador de calor, além disso este equipamento proporciona uma redução no consumo de energia ao sistema de 252kW para 195,6kW.

ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS

A análise dos resultados apresentados no estudo indica que a utilização de um sistema de ar-condicionado com renovação de ar, projetado de acordo com as normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e pela NBR 16401-3, é fundamental para minimizar os problemas relacionados à Síndrome do Edifício Doente (SED). Para demonstrar a aplicação prática da renovação de ar e a eficácia do recuperador de calor, foi realizado um estudo de caso para uma sala de aula.

Ao comparar as metodologias de determinação da vazão mínima necessária de ar externo, observou-se que a metodologia da NBR 16401-3 resulta em uma vazão de ar eficaz superior à estabelecida pela RE N°09, tornando-se a escolha preferencial para este estudo de caso.

A análise das parcelas da carga térmica que atuam sobre o ambiente demonstrou a importância de considerar todos os fatores relevantes para o levantamento da carga térmica do local. Com base nesses dados, foram propostas duas simulações para o tratamento do ar de renovação: uma sem o uso do recuperador de calor e outra com o uso do recuperador de calor.

A primeira simulação, sem o uso do recuperador de calor, mostrou-se menos econômica, uma vez que o ar de renovação é tratado diretamente na unidade de tratamento de ar (UTA), sem nenhum mecanismo de economia de energia.

Na segunda simulação, foi alocado um recuperador de calor entálpico para aproveitar a diferença de energia entre o ar externo e o ar interno antes de entrar na UTA. A análise da eficiência do trocador de calor mostrou que ele é capaz de proporcionar uma redução significativa no consumo de energia do sistema.

Os resultados obtidos demonstram que a utilização do recuperador de calor pode resultar em uma economia de energia substancial, além de reduzir a carga térmica necessária para climatizar o ambiente.

CONCLUSÃO

Em conclusão, o estudo destaca a importância crucial da renovação de ar e do tratamento adequado do ar externo em ambientes fechados, especialmente em locais como escritórios, escolas, hospitais e shoppings, onde a concentração de pessoas é alta. A Síndrome do Edifício Doente (SED) é um sério problema relacionado à qualidade do ar interior, que pode afetar a saúde e o bem-estar dos ocupantes.

A partir de diversas normas e regulamentações, como a da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a Norma Brasileira de Regulamentação (NBR), foram estabelecidos parâmetros para garantir a qualidade do ar interior e prevenir a SED. A utilização de sistemas de ar-condicionado com renovação de ar e o emprego de recuperadores de calor são estratégias fundamentais para alcançar esses objetivos.

O estudo de caso realizado para uma sala de aula demonstrou claramente os benefícios da utilização do recuperador de calor, que proporcionou uma redução significativa na carga térmica necessária para climatizar o ambiente, além de uma economia substancial no consumo de energia do sistema.

Portanto, é evidente que a implementação de sistemas de climatização com renovação de ar e o uso de tecnologias como recuperadores de calor são medidas essenciais para promover a eficiência energética, garantir a qualidade do ar interior e proporcionar conforto térmico aos ocupantes dos edifícios. Essas práticas não apenas contribuem para a saúde e o bem-estar das pessoas, mas também para a sustentabilidade e a redução do consumo de energia no setor de construção civil.

REFERÊNCIAS

ABNT, A. B. de N. T. *NBR_16401-3_2008.pdf*, 2008. . Disponível em: <http://www.ductbusters.com.br/normas/NBR_16401-3_2008.pdf>.

ABRAVA. ABRAVA - Climatização e Refrigeração. 2021.

ASHRAE. *2019 ASHRAE Handbook_ HVAC Applications CH35.pdf*. [s.l: s.n.]

ASHRAE. *2020 Ashrae Handbook*. [s.l: s.n.]

ASHRAE. *ASHRAE DATA VIEWER*. Disponível em: <https://www.techstreet.com/standards/weather-data-viewer-2021-basic-subscription?product_id=2248129>.

BRASCHE, S. Why do women suffer from sick building syndrome more often than men? - Subjective higher sensitivity versus objective causes. *Indoor Air*, v. 11, n. 4, p. 217–222, 2001.

BRASIL. *PORTARIA Nº 3.523* Brasília Ministério da Saúde do Brasil, , 1998. . Disponível em: <https://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html>.

BRASIL. *RESOLUÇÃO-RE Nº 9, de 16 de JANEIRO de 2003* Revisa e atualiza a RE/ANVISA nº 176, de 24 de outubro de 2000, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. Brasília ANVISA, , 2003. . Disponível em: <https://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html>.

BRASIL. *LEI 13589-18* Brasília CASA CIVIL, , 2018. . Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/13589.htm>.

CHE, W. W. et al. Energy consumption, indoor thermal comfort and air quality in a commercial office with retrofitted heat, ventilation and air conditioning (HVAC) system. *Energy and Buildings*, v. 201, p. 202–215, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.029>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Brazilian Energy Balance 2021 year 2020. *Brazilian Energy Balance 2021 year 2020*, p. 292, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 2021.

GEOTERMAL54. *Trocador de Calor Ar-Ar*. Disponível em: <<https://geotermal54.ru/stati/teplovyenasosy-vozdukh-vozdukh>>. Acesso em: 18 out. 2022.

GRAF, R. *OIL AND SOVEREIGNTY*. [s.l.] Berghahn Book, 2018.

HASHIM, H. M. et al. Cooling Load Calculation Principles. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies*, n. October, 2019.

HITACHI. Manual de Operação Manual de Instalação - KPI. 2009.

INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>>. Acesso em: 2 set. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *The Future of Cooling Opportunities for energy- efficient air conditioning*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf>.

ISRAELI, E.; PARDO, A. The sick building syndrome as a part of the autoimmune (auto-inflammatory) syndrome induced by adjuvants. *Modern Rheumatology*, v. 21, n. 3, p. 235–239, 2011.

KOSAR, D. R. et al. Dehumidification issues of standard 62-1989. *ASHRAE Journal*, v. 40, n. 3, p. 71–75, 1998.

LEE, A. Otimização Dos Sistemas De Climatização E Refrigeração Industrial Em Supermercados. 2005.

MARTÍNEZ, F. J. R.; CALLEJO, R. C. *Edificios saludables para trabajadores sanos : Edificios saludables para trabajadores sanos : calidad de ambientes interiores*. [s.l.: s.n.]

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. *Nota Técnica EPE 030/2018* -, p. 43, 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT_EPE_030_2018_18Dez2018.pdf>.

MUNTERS. *Dehumidificaion Handbook*. 3. ed. Amesbury, MA: Munters Corporation Marketing Department, 2019.

MUNTERS. *Munters' desiccant rotor – industrial dehumidification at its best*. Disponível em: <<https://www.munters.com/en/about-us/history-of-munters/history-news2/munters-desiccant-rotor--industrial-dehumidification-at-its-best/>>. Acesso em: 11 jul. 2022.

PARGETER, S. Reducing Building HVAC Costs with Site-Recovery Energy. *Facilities Manager*, v. January/fe, p. 24–28, 2012.

PROCEL. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 2 set. 2022.

TEIXEIRA, D. B. et al. Síndrome dos Edifícios Doentes em Recintos com Ventilação e Climatização Artificiais: Revisão de Literatura. *Acervo Digital Inmetro*, n. 21, p. 47–2752, 2005. Disponível em: <http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/347/1/2005_TeixeiraBrionizioPereira.pdf>.

TOMAZI, J. O.; RODRIGUES, L. J.; SCHNEIDER, P. S. Auditoria Energética Visando O Selo Procel De Economia De Energia Para Uma Edificação Pública De Ensino / Energy Audit Aiming At the Procel Seal of Energy Savings for a Public Education Building. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 12, p. 99648–99664, 2020.

CONFIABILIDADE VS TEMPO MÉDIO PARA FALHAR

Data de submissão: 01/03/2024

Data de aceite: 01/03/2024

Alexandre Fernandes Santos

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Heraldo José Lopes de Souza

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Marcia Cristina de Oliveira

Faculdade Profissional, Curitiba, Paraná

Sariah Torno

FAPRO - Faculdade Profissional, Curitiba,
Paraná

Darlo Torno

FAPRO - Faculdade Profissional, Curitiba,
Paraná

Sandro Adriano Zandoná

FAPRO - Faculdade Profissional, Curitiba,
Paraná

Natalia Tinti Ramos

FAPRO - Faculdade Profissional, Curitiba,
Paraná

Eliandro Barbosa de Aguiar

FAPRO - Faculdade Profissional, Curitiba,
Paraná

Daiane Busanello

FAPRO - Faculdade Profissional. Curitiba
- Paraná
<http://lattes.cnpq.br/4109587347234407>

RESUMO: Índices de manutenção são essenciais para a indústria 4.0, esse capítulo de livro de engenharia trata de uma comparação entre compressores hipotéticos e suas confiabilidades e manutenibilidades, assim como a disponibilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Compressores, Confiabilidade, Disponibilidade.

RELIABILITY VS MEAN TIME TO FAILURE

ABSTRACT: Maintenance rates are essential for industry 4.0, this engineering book chapter deals with a comparison between hypothetical compressors and their reliability and maintainability, as well as availability.

KEYWORDS: Compressors, Reliability, Availability.

INTRODUÇÃO

De todas as perdas que existem, salvo a vida, pode-se citar um dos piores o desperdício de alimentos, o Brasil é o décimo país que mais desperdiça alimento no mundo, muitas vezes um compressor com problema nas camaras frigoríficas pode ser o agente desse desperdício (Supervarejo, 2024).

O compressor em conjunto com outras peças e dispositivos integram o motor de um sistema de refrigeração, é selecionado pelo critério de resfriamento segundo características específicas dos produtos que serão comercializados no estabelecimento. Alimentos armazenados em sistemas isentos de refrigeração ou ainda que disponível, mas que apresente falhas tornam-se inviáveis de serem comercializados ou consumidos, sem contar o enorme prejuízo à organização. A indústria de compressores enquanto organização e técnicos que nela trabalham devem priorizar conhecimentos sobre índices estatísticos de confiabilidade de temperatura e ausência de falhas nos sistemas de refrigeração, para todos os tipos de compressores e sobre falhas que possam ocorrer nesses equipamentos, envolvendo custos de falha, efeitos de manutenção, confiabilidade, custos de inspeção e troca. Um enfoque sistemático e criterioso leva em conta a confiabilidade e esta sustenta a estabilidade do produto no mercado, por longos períodos (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1994 apud Santos, 2012). No contexto industrial contemporâneo, segundo Tamagna (2008 apud Santos, 2012), em que a máxima disponibilidade dos equipamentos ligados ao processo produtivo representa fator crítico para o sucesso do mercado, a confiabilidade do equipamento passa a desempenhar função estratégica, uma vez que se faz necessário trabalhar na prevenção e detecção antecipada das possíveis falhas, especificamente, tratando dos compressores utilizados na rede de supermercados para refrigeração de alimentos, indispensável à preservação do produto e sucesso ao negócio.

Muito se fala sobre a manutenção e as boas práticas de manutenção, mas mensurar os resultados é muito mais importante.

O propósito deste artigo é explicar alguns conceitos da manutenção e como se mensura os resultados, como afirma Lord Kelvin: “Somente se conhece uma magnitude física quando se pode medir e expressar numericamente” (ATMOS, 2021). Entre os princípios a serem abordados encontram-se, (SINGH, 2014; MMTEC, 2021):

- **Confiabilidade:** é a probabilidade de que um sistema, equipamento ou parte de um sistema irá realizar a sua função pretendida sem “falhas” para um período de tempo estimado sob condições determinadas, ou seja, a confiabilidade é a qualidade no tempo. A fórmula mais usual para medir a confiabilidade é (Knezevic, 2018):

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t}$$

Sendo:

R= Confiabilidade;

e= exponencial 2,71...;

$-\lambda$ = taxa de falhas em (falhas/h):

t= tempo em horas.

Portanto, enquanto a taxa de falhas cresce a confiabilidade diminui, mas numa relação em sua maioria exponencial.

- **Mantenabilidade/Manutenabilidade:** é a probabilidade de executar uma ação bem sucedida de conserto/reparo/restauração dentro de um espaço de tempo. A manutenibilidade também pode ser definida como o grau de facilidade para se fazer a manutenção.
- **Disponibilidade:** é a probabilidade do sistema estar operando corretamente quando requerido para o uso, também pode ser expressa numericamente por, (ALSGLOBAL, 2021):

$$D = \frac{TMF}{TMF + TMR}$$

Onde:

D = Disponibilidade;

TMF = Tempo médio entre falhas;

TMR = Tempo médio para reparo.

Além dos equipamentos também existe o conceito da confiabilidade para os humanos, também é uma ciência importante para indústria, comércio e tantas outras ações que exijam a confiabilidade, essa ciência estuda os erros humanos e seus impactos sobre os indicadores de segurança, qualidade e produção.

Grandes partes dos acidentes ocorridos em equipamentos e sistemas podem ser oriundos dos erros humanos, para se prevenir de eventos não desejáveis, é essencial que sistemas, operações e equipamentos, além claro do ambiente de serviço estejam em consonância com as capacidades intelectuais, cognitivas, emocionais e físicas dos colaboradores, e suas limitações (SILVA et al, 2017).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os sistemas de refrigeração de ar destinam-se em otimizar a temperatura do ambiente, umidade relativa, renovação e qualidade do ar, processo que deve ser realizado mediante a presença de ruído mínimo e ocupação do menor espaço físico possível .

O compressor desempenha papel fundamental nos ciclos de refrigeração e representa “o coração” do sistema, deste equipamento depende um bom ou mau funcionamento do sistema. Dentre os papéis do ciclo de refrigeração do compressor é possível afirmar que reduz a pressão da saída do evaporador, até a correspondente temperatura de evaporação requerida pela instalação; aumenta a pressão do refrigerante, até a temperatura de condensação requerida pela instalação; movimenta o fluido refrigerante por meio da tubulação e dos componentes individuais (Santos 2012).

Estruturalmente, o compressor compõe-se de unidade condensadora hermética e unidade compressora aberta. “Tem como finalidade aumentar a pressão de evaporação para pressão do gás refrigerante da pressão de evaporação para pressão de condensação” (TRANE, 1979, p. 12 apud Santos 2012), cuja “função [...] é entregar o refrigerante ao condensador a uma pressão e a uma temperatura que permitam obter, com rapidez, o processo de condensação”. Ainda no entendimento de: O compressor e o motor de transmissão deste encontram-se encerrados em uma carcaça comum. O motor está localizado no fluxo de gás aspirado que produz a necessária refrigeração. O termo semi-hermético significa que a carcaça hermética pode ser aberta para permitir reparos no compressor ou motor. No interior de um compressor semi-hermético encontra-se instalado um motor elétrico, semelhante ao existente no compressor hermético, porém, a principal característica desse modelo está na facilidade para o profissional refrigerista abri-lo, permitindo que algumas peças de seus componentes sejam substituídas, sem que haja a necessidade de troca do compressor por completo (Figura 1) (Santos, 2012).

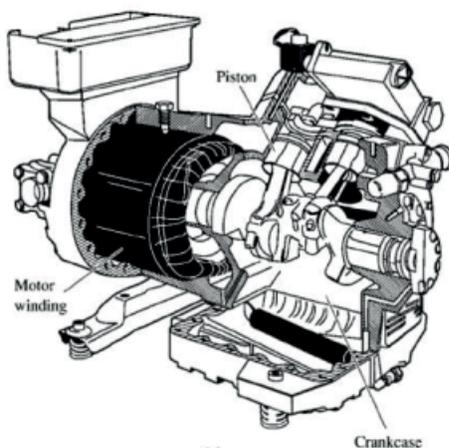


Figura 1_Compressor Semi-Hermético (Santos, 2012).

Outra vantagem é em relação aos custos, que podem se tornar ainda menor, justamente por permitir que somente algumas partes sejam trocadas, “os compressores modernos semiherméticos ou abertos podem ser colocados virtualmente em qualquer local [...] alguns fatores devem ser examinados ao finalizar o projeto de instalação” (Santos, 2012).

Situação hipotética A:

- Compressor semi-hermético importado com discus para refrigerar uma Câmara frigorífica com tempo médio entre falhas = 30.000h;
- Tempo médio para reparo (com importação da peça) = 2.880h (quatro meses).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{30.000}{30.000 + 2880} = 0,9124$$

Situação hipotética B:

- Compressor semi-hermético nacional para refrigerar uma câmara frigorífica com tempo médio entre falhas = 20.000h;
- Tempo médio para reparo = 48h (peça nacional disponível em loja).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{20.000}{20.000 + 48} = 0,9976$$

Muitas vezes, os projetistas negam o indicador “disponibilidade” no momento da decisão para escolher qual é a melhor opção de equipamento e/ou sistema.

A questão sobre o equipamento ser importado ou nacional, neste caso, é apenas suposição, pelo fato que alguns produtos nacionais possui logística inferior a alguns importados, mas a independencia, ou seja, a fabricação no país de origem deve ser um fator a ser considerado no momento de compra, não a toa o BNDES vincula o índice de nacionalização para credenciamento de seu cartão (CartaoBndes, 2024).

Ainda na etapa do projeto, muitas vezes as redundâncias não são analisadas de forma mensurável, quando se trata de sistemas componentes e/ou equipamentos em série, a confiabilidade é na forma de produto dos componentes do sistema:

$$R_n = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_s$$

Exemplo hipotético:

Evaporador = 0,98;

Condensador = 0,98;

Compressor = 0,95;

Elemento para expansão = 0,99;

Contactoras = 0,98.

$$R = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0.8580$$

Neste caso, 85,80% de confiabilidade, caso fosse elaborado um novo esquema com um condensador e um sistema elétrico em paralelo, sabendo que sistemas em paralelo com novos índices do confiabilidade, por exemplo:

Onde:

P.ELET = Contactoras e parte elétrica, R=0,98.;

COMP = Compressores, R=0,98;

COND = Condensador, R=0,95;

V.EXP = Válvulas de Expansão, R=0,99;

EVAP = Evaporador, R=0,98.

A confiabilidade em sistema paralelo é:

$$R_s = (R_1 + R_2) \cdot (R_1 \cdot R_2)$$

Podemos dizer:

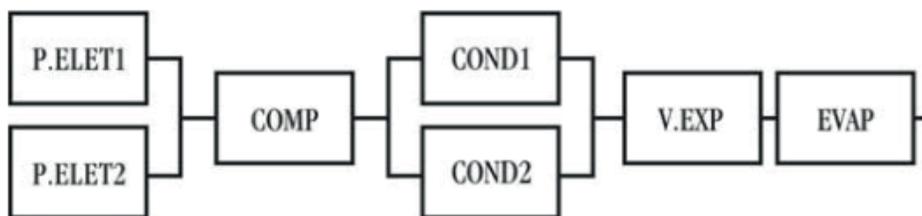


Figura 2 – Sistema de bloco

$$R = R //_{P.ELET} \cdot R_{COMP} \cdot R //_{COND} \cdot R_{V.EXP} \cdot R_{EVAP}$$

$$R = 0,99 \cdot 0,98 \cdot ((0,95 + 0,9) - (0,95 \cdot 0,95)) \cdot 0,98 \cdot ((0,95 + 0,95) - (0,95 \cdot 0,95)) = 0,9460$$

Ou seja, a confiabilidade vai aumentar substancialmente, é um exemplo hipotético, mais que bem aplicado, pode auxiliar os fabricantes e os instaladores a desenvolverem sistemas mais confiáveis.

CONCLUSÕES

Em inglês a manutenção se inicia com a palavra “*main*” que significa o mais importante, o principal, e isso deve sempre estar pautado que a manutenção inteligente não é uma despesa, e sim um dos principais pontos na de um Engenheiro de confiabilidade na manutenção.

É imperativo que a manutenção venha acompanhada de indicadores, especialmente na indústria 4.0, indústria 4.0 significa manutenção 4.0 ao lado.

“Nos sistemas e ou equipamentos com manutenção 4.0 as atividades que antes eram feitas de forma periódica ou apenas com a falha e quebra dos equipamentos e ou sistema passarão a serem realizadas com a instrução do próprio sistema. Cada vez mais o software e inteligência artificial otimizarão a utilização do equipamento e ou sistema de forma a minimizar o tempo de parada e os prejuízos com trocas de equipamentos e ou peças. Ao usuário caberá apenas o monitoramento do sistema e ou equipamento e o foco no que realmente importa: o desenvolvimento de soluções inovadoras para seus produtos e ou serviços” (WELLELASER, 2021).

Ou seja, a lógica da manutenção e indicadores explícitos e públicos de taxa de falhas, tempo médio entre falhas, tempo médio para falhar, manutenibilidade/mantenabilidade e principalmente a disponibilidade necessitam ficar no script desde o começo do projeto.

REFERÊNCIAS

ALSGLOBAL. Calcular a disponibilidade de máquinas e equipamentos. Disponível em <https://www.alsglobal.com/pt-br/news/artigos/2020/08/como-calcular-a-disponibilidade-de-maquinas-e-equipamentos>. Acessada em 05/07/2021.

ATMOS. **Lord Kelvin quote**. Disponível em https://atmos.uw.edu/~robwood/teaching/451/Lord_Kelvin_quote.pdf Acessado em 05/07/2021.

CARTAOBNDES. **Índice de nacionalização**. Disponível em <https://www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/Tutorial/Manual%20do%20Fabricante%20-%20Calculo%20do%20Indice%20de%20Nacionalizacao.pdf>. Acessado em 28/02/2024.

MMTEC. **MANTENABILIDADE NA MANUTENÇÃO CORRETIVA: COMO APLICAR?** Disponível em <http://www.mmtec.com.br/mantenabilidade-na-manutencao-corretiva-como-aplicar/#:~:text=O%20que%20significa%20mantenabilidade&text=%E2%80%9Ca%20capacidade%20de%20um%20item,mediante%20procedimentos%20e%20meios%20prescritos.%E2%80%9D>. Acessado em 05/07/2021.

KNEZEVIC, Jezdimir. **How reliable is reliability Function?** DOI 10.13140/RG.2.2.27471.12967. Mirce Academy, Exeter. Reino Unido. November 2018.

Santos, Alexandre F.; **CONFIABILIDADE APLICADA À TOMADA DE DECISÃO PARA COMPRESSORES HERMÉTICOS E SEMI-HERMÉTICOS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAL**. UTFPR – Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba – Paraná. 2012. Disponível em https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18640/2/CT_CECAM_I_2011_02.pdf. Acessado em 28/02/2024.

SILVA, Bruna Grazielly de Jesus; LISBOA, Ainã Pinheiro; SANTOS, Áurea Haíza Almeida; SANTANA, Kelyanne Santos; SILVA, Isabelly Pereira. **CONFIABILIDADE HUMANA: UMA ABORDAGEM ATUAL DO ERRO HUMANO**. IX SIMPROD – simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe. ISSN 2447-0635. Sergipe. 2017.

SINGH, Pankaj; YADAV, K. P.; SHRIVASTAVA, Abhishek. **A Preliminary study on reliability engineering and its evaluation**. Turkish Journal of Engineering, Science and Technology, 30/01/2014.

Supervarejo. **Brasil é o 10º país que mais desperdiça alimentos no mundo?** Disponível em https://www.supervarejo.com.br/consumo/brasil-e-o-10o-pais-que-mais-desperdica-alimentos-no-mundo?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAloavBhBOEiwAbtAJO1vGDAYYwdEZORj-h9KBMZyqGley-5kk0G88AxJhmxDAnHXzKEQlthoCf9sQAvD_BwE. Acessado em 28/02/2024.

WELLELASER. **Manutenção 4.0, os aspectos da quarta revolução industrial sob a perspectiva da manutenção**. Disponível em <https://wellelaser.com/manutencao-4-0-os-aspectos-da-quarta-revolucao-industrial-sob-a-perspectiva-da-manutencao/>. Acessado em 05/07/2021.

A IMPORTÂNCIA DA CONSCIENTIZAÇÃO DOS FLUÍDOS REFRIGERANTES NA REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO E SEU MANUSEIO

Data de aceite: 01/03/2024

Alexandre Fernandes Santos

Universidade Beira Interior, Covilhã,
Portugal
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Darlo Torno

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Daiane Busanello

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Heraldo José Lopes de Souza

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Natalia Tinti

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Márcia Cristina de Oliveira

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Sandro Adriano Zandoná

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Eliandro Barbosa de Aguiar

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

RESUMO: Os fluidos refrigerantes são essenciais para os equipamentos de refrigeração e climatização, apesar de ser um volume pequeno possuem alto impacto ambiental, para se ter uma ideia os fluidos refrigerantes geram de aquecimento global o equivalente a 22% de todas as queimadas do planeta, as soluções são conectadas ao uso de fluidos refrigerantes naturais que ou são tóxicos ou combustíveis ou de altas pressões de trabalho, o treinamento dos profissionais é a solução viável para a redução do aquecimento global.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento global, refrigeração, fluidos refrigerante, GWP.

ABSTRACT: Refrigerants are essential for refrigeration and air conditioning equipment, despite being a small volume, they have a high environmental impact. To give an idea, refrigerants generate global warming equivalent to 22% of all planet's wildfires. Solutions are connected to the use of natural refrigerants, which are either

toxic, flammable, or operate at high pressures. Training professionals is a viable solution for reducing global warming.

KEYWORDS: Global warming, refrigeration, refrigerants, GWP.

INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório do (Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group III & Edenhofer, n.d.), entre os significativos contribuintes do aquecimento global estão os fluidos refrigerantes fluorados conhecidos como F-gases (2,2% das emissões globais), apesar de seu pequeno volume os F-gases são equivalentes a 22% de todas as emissões das queimadas (as emissões das queimadas são 10% das emissões globais).

Para efeito de comparação, o fluido refrigerante mais utilizado na refrigeração, HFC-404-A, possui um GWP (Global Warming Potencial) de 3.922 kg CO₂, enquanto o Propano (R-290) apresenta um GWP de 3, o que representa uma redução de 99,92%. No caso do ar condicionado, um dos fluidos alternativos é o R-32, que possui um GWP de 675, em contraste com o GWP de 2088 do R-410 A, predominantemente utilizado em sistemas split, resultando em uma redução de 67,7% nas emissões de CO₂(Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group III & Edenhofer, n.d.).

Além das questões relacionadas às emissões, muitos fluidos refrigerantes contêm cloro, que afeta a camada de ozônio. No parque industrial brasileiro, o HCFC-22 é um gás refrigerante dominante, com excelentes características entálpicas, porém causa danos significativos ao efeito estufa e à camada de ozônio(Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group III & Edenhofer, n.d.).

Há também a preocupação com os PFAS (Per- and polyfluoroalkyl substances), presentes nos F-gases em geral (com exceção do R-32). A exposição a altos níveis de PFAS na água potável não apenas a contamina, mas também pode resultar em efeitos adversos à saúde, como aumento nos níveis de colesterol, alterações nas enzimas hepáticas, disrupção hormonal e aumento do risco de doenças da tireoide. Em dias chuvosos, vazamentos de fluidos refrigerantes podem contaminar rios e oceanos(Coperchini et al., 2021).

Embora os fluidos refrigerantes fluorados tenham um alto GWP e muitos deles causem destruição da camada de ozônio e contenham PFAS, eles operam em pressões aceitáveis para evitar acidentes de trabalho. Em geral, eles não são considerados tóxicos e não são inflamáveis, exceto quando são classificados como A2L, ou seja, levemente inflamáveis. Isso os torna fáceis de transportar e oferece muitas vantagens aos técnicos em refrigeração, apesar de seus impactos ambientais(Coperchini et al., 2021).

Os fluidos refrigerantes mais sustentáveis, conhecidos como naturais, incluem amônia (NH₃) com GWP zero, propano (R-290) com GWP de 3, isobutano (R-600a) com GWP de 3 e dióxido de carbono (R-744) com GWP de 1. Além disso, há o R-32, um F-gas (não natural) com um GWP moderado de 675 (apesar de não ser natural, possui

um GWP e PFAS aceitáveis em comparação com outros F-gases). Todos esses fluidos têm características distintas que requerem treinamento especializado para manuseio. Eles foram amplamente utilizados até 1924, mas causavam frequentes acidentes de trabalho e, às vezes, resultavam em fatalidades, devido à toxicidade da amônia, à alta inflamabilidade do R-290 e do R-600a, às altas pressões do R-744 em seus recipientes e à inflamabilidade leve do R-32. Até o momento, essas são as soluções de mercado para um mundo sustentável (Coperchini et al., 2021).

Recentemente, um técnico de refrigeração de 38 anos morreu após a explosão do cilindro de gás durante a manutenção em um imóvel na cidade de Maceió, deixando uma filha pequena órfã (UOL, 2024) .

O estado do Paraná é uma referência em refrigeração comercial, com empresas como Gelopar, Eletrofrío, Trox, Plotter Racks, Electrolux e até uma nova fábrica da LG que será estabelecida no município de Fazenda Rio Grande (Indústria, 2024).

Para promover o equilíbrio, a GIZ na Alemanha realiza treinamentos sobre o manuseio de fluidos refrigerantes naturais, uma iniciativa que carece de apoio no Brasil.

IMPACTO AMBIENTAL E SEGURANÇA NO MANUSEIO DE FLUIDOS REFRIGERANTES NA REFRIGERAÇÃO E AR-CONDICIONADO: UMA ANÁLISE CRÍTICA

O aumento das temperaturas globais decorrentes do aquecimento global tem sido sentido de forma cada vez mais evidente, impulsionando a demanda por equipamentos de ar-condicionado, amplamente reconhecidos por sua capacidade de salvar vidas. Contudo, esse crescimento na utilização de ar-condicionado acarreta em preocupações ambientais significativas devido aos fluidos refrigerantes utilizados em tais equipamentos (Ballester et al., 2023).

Um dos fluidos refrigerantes mais amplamente empregados na refrigeração, o R-404A, apresenta um GWP alarmante de 3.922 por kg (Callahan et al., 2011), equivalente à poluição gerada por um carro 1.0 transportando quatro passageiros por 43.000 km (ECCAPLAN, 2024) .Em um cenário típico de um supermercado médio, onde cerca de 100 kg desse fluido refrigerante podem estar presentes, um único vazamento por ano resultaria em uma poluição equivalente à de 6.400 carros percorrendo a distância entre Curitiba e Foz do Iguaçu (ECCAPLAN, 2024)

Além das preocupações relacionadas à refrigeração, o mercado de ar-condicionado está experimentando um crescimento explosivo de vendas, com estimativas da Abrava apontando para quase 4.000.000 de unidades de Splits vendidos no Brasil em 2024(Costa et al., 2020). O fluido refrigerante mais comumente utilizado, o R-410A, possui um GWP de 2.088, enquanto o R-32, com um GWP de 675 e a vantagem de não conter o poluente PFA, tem enfrentado resistência por parte de muitos técnicos em refrigeração devido a preocupações com segurança (UOL, 2024).

A hesitação dos técnicos brasileiros em trabalhar com o R-32, que é classificado como levemente inflamável (A2-L), destaca preocupações ainda maiores em relação ao uso do Propano R-290. Comparativamente, o R-32 requer aproximadamente 1000 vezes mais energia para a ignição do que o propano, sugerindo a necessidade urgente de capacitação e preparo dos profissionais do setor (UOL, 2024). Na Alemanha, já é possível encontrar Splits que operam com propano.

É crucial salientar que além do GWP, os F-gases também apresentam preocupações relacionadas ao PFA, com muitos deles sendo alvo de proibições na Europa. Prevê-se que até 2050, os HFCs (Hidrofluorcarbonos) sejam completamente eliminados como fluidos refrigerantes na região (European, 2024).

Diante desse contexto, torna-se imprescindível investir em treinamento e conscientização dos técnicos em refrigeração do Paraná sobre a importância do manejo responsável de fluidos refrigerantes, não apenas enfocando as novas tecnologias, mas também a prevenção de vazamentos em sistemas mais antigos. Essa iniciativa pode posicionar o Paraná como um líder em sustentabilidade. Além disso, a disseminação de informações sobre normas de segurança no manuseio de novos fluidos refrigerantes pode contribuir para a conscientização dos técnicos sobre as vantagens dos fluidos refrigerantes naturais (Indústria, 2024).

Em última análise, a capacitação e conscientização dos técnicos em refrigeração desempenham um papel fundamental na mitigação do impacto ambiental e na promoção de práticas mais sustentáveis na indústria de refrigeração e ar-condicionado. Esses profissionais são fundamentais para garantir a conservação adequada de alimentos, medicamentos e outros produtos sensíveis à temperatura, ao mesmo tempo em que desempenham um papel vital na proteção do meio ambiente contra os efeitos nocivos dos fluidos refrigerantes.

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CURSO ONLINE PARA TREINAMENTO EM UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS REFRIGERANTES NATURAIS: UM PASSO RUMO À DESCARBONIZAÇÃO NO PARANÁ

A metodologia proposta para este projeto visa inicialmente realizar uma revisão abrangente da literatura científica existente, a fim de analisar e documentar os impactos ambientais dos fluidos refrigerantes, tanto em termos de efeito estufa quanto de contaminação ambiental por F-gases. Os resultados desta revisão serão utilizados para embasar a produção de artigos científicos destinados à publicação em revistas de alto impacto, com o apoio da Fundação Araucária.

Após a conclusão da revisão bibliográfica e análise dos artigos publicados, será elaborada uma apostila digital em formato PDF. Esta apostila será dividida em diversos capítulos, abordando os seguintes temas:

Introdução: Esta seção fornecerá uma explicação detalhada sobre o treinamento proposto, destacando os impactos dos fluidos refrigerantes na cadeia de refrigeração de alimentos e na climatização. Será fornecida uma orientação sobre a navegação no curso e sua duração.

Conceitos Básicos de Refrigeração: Este capítulo abordará temas essenciais, tais como a relação entre temperatura e pressão, determinação da temperatura de evaporação e de condensação, escolha do fluido refrigerante, estrutura do diagrama pressão-entalpia, ciclo de refrigeração prático e fatores que influenciam na carga térmica.

Fluidos Refrigerantes Naturais: Nesta seção serão discutidas as propriedades e classificações dos fluidos refrigerantes naturais, técnicas de manuseio seguro do propano e do R-32, conexões e tubulações frigoríferas, métodos de detecção de vazamentos, técnicas para balanceamento frigorífero, eficiência energética em AVAC-R, eletricidade em AVAC-R e normas de segurança.

RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados almejados deste projeto são:

Estabelecer o estado do Paraná como pioneiro no treinamento online para utilização de fluidos refrigerantes naturais, com foco principal no propano e no R-32.

Capacitar até 1000 técnicos de refrigeração e climatização por meio deste curso online, de forma totalmente gratuita, em parceria com o CRT-04, Asbrav e Ashrae, fornecendo certificados de conclusão aos participantes.

Contribuir para acelerar o processo de descarbonização no estado do Paraná, promovendo práticas mais sustentáveis e responsáveis no setor de refrigeração e climatização.

Este projeto visa não apenas fornecer capacitação técnica, mas também conscientizar os profissionais sobre a importância da utilização de fluidos refrigerantes naturais como parte de um esforço mais amplo para mitigar os impactos ambientais do setor de refrigeração e ar-condicionado.

CONCLUSÃO

Os fluidos refrigerantes desempenham um papel fundamental nos equipamentos de refrigeração, climatização e na manutenção da cadeia de frio. Algumas empresas, como o Grupo Madero em Ponta Grossa, já adotaram uma matriz de refrigeração utilizando CO₂, caracterizada por um impacto ambiental reduzido. Contudo, a substituição generalizada de fluidos refrigerantes requer um investimento significativo em treinamento para os profissionais de refrigeração. Esse treinamento é considerado urgente no estado do Paraná, que se destaca como um dos principais centros de atividade no setor de refrigeração no Brasil..

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS, 2024. *Paraná firma acordo com a LG para receber nova fábrica no Brasil*. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Parana-firma-acordo-com-LG-para-receber-nova-fabrica-no-Brasil>>.

BALLESTER, J., QUIJAL-ZAMORANO, M., MÉNDEZ TURRUBIATES, R.F. *et al.* *Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022*. *Nat Med* **29**, 1857–1866, (2023).

CALLAHAN WANDA; JAMES FAVA SHELL A; WICKWIRE, SUSAN; et al. *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*, 2011.

COPERCHINI, FRANCESCA; CROCE, LAURA; RICCI, GIANLUCA et al; *Thyroid Disrupting Effects of Old and New Generation PFAS*, (2021).

COSTA, FERNANDO; GOMES, RODOLFO; JANNUZZI, GILBERTO; et al. *Estudo de Impacto Regulatório Diretrizes Gerais e Estudo de Caso para Condicionadores de Ar tipo Split System no Brasil*, 2020.

ECCAPLAN, 2024. *Calcule e Neutralize suas Emissões de CO2*. Disponível em: <<https://calculadora.eccaplan.com.br>>.

EDENHOFER, OTTMAR; PICHS-MADRUGA, RAMÓN; SOKONA, YOUNG et al. *Climate change 2014: mitigation of climate change : Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (2014).

EUROPEAN COMMISSION, F-gas regulation, 2014. Disponível em: <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/eu-legislation-control-f-gases_en>.

UOL, 2024. *Técnico de refrigeração morre após ar-condicionado explodir em Maceió*. Disponível em: <[Engenharias: Qualidade, produtividade e inovação tecnológica 5](https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2024/01/31/cilindro-de-ar-condicionado-explode-e-mata-tecnico-de-refrigeracao-em-al.htm#:~:text=Um%20t%C3%A9cnico%20de%20refrigera%C3%A7%C3%A3o%20de,%2C%20em%20Macei%C3%B3(AL)>.></p></div><div data-bbox=)

LEONARDO FRANÇA DA SILVA: Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal De Minas. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista -UNESP. Atualmente, é Doutor em Engenharia Agrícola (Construções Rurais e Ambiência) pela Universidade Federal de Viçosa e membro colaborador do Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais - AMBIAGRO- UFV. Além de ser pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia de Produção. Possui experiência nas áreas de Engenharia agrícola, com ênfase em Engenharia de Construções Rurais, Desenvolvimento rural, Sustentabilidade em sistemas de produção (Agrícola / Animal), Segurança do trabalho e Ergonomia.

VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA: Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras, especialista em Análise de Dados e Engenharia de Segurança do Trabalho, mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é pesquisador de doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual Paulista (UNESP), atuando na integração de novas tecnologias da informação no campo, atuando diretamente com processamento de imagem, estatística multivariada e modelos de inteligência artificial. Possui experiência internacional no desenvolvimento de projetos científicos e atua diretamente no desenvolvimento de pesquisas na área de Construções Rurais e Ambiência e Uso de Inteligência Artificial na Agricultura.

A

Acrostichum aureum 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11

Aplicativos móveis 45

Aprendizagem 45, 47, 49, 53, 55, 61, 63, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Aspectos ambientais 86, 87, 88, 89, 90, 91, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 106, 110, 111, 112

Avaliação 12, 33, 43, 78, 80, 82, 83

B

Bosque inundable 1, 4, 5, 6, 7

C

Caracterização 24, 29, 34, 39

Carbón-biomasa 66

Co-procesamiento 65, 66, 67, 75

D

Descarbonização 12, 13, 16, 20, 21, 159, 160

Desenho técnico 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 61, 62, 63, 64

Desenvolvimento sustentável 12, 13, 15, 16, 21, 35

E

Ensino a distância 13, 78, 80, 81

G

Generación de calor 65, 66, 70, 75

Generación de emisiones furtivas y ruido 87

Gestão de resíduos 24, 44

M

Manglares 1, 2, 3, 11

Mobilidade elétrica 12, 13, 14, 15, 16, 19, 21

P

Pelliciera rhizophorae 1, 2, 3, 4, 7, 11

Planta procesadora de cal 86, 87, 111

Posto de combustível 24, 42, 43

Professores 48, 53, 55, 61, 78, 79, 80

R

Realidade aumentada 45, 47, 48, 51, 52, 53, 56, 57, 61, 62, 63

Restauración 1, 2, 4, 5, 10

Riesgos ambientales 87, 88, 92, 93, 94, 95, 106, 108, 112

S

Segurança do trabalho 24, 41, 162

Sistema de gestión ambiental 86, 87, 110

T

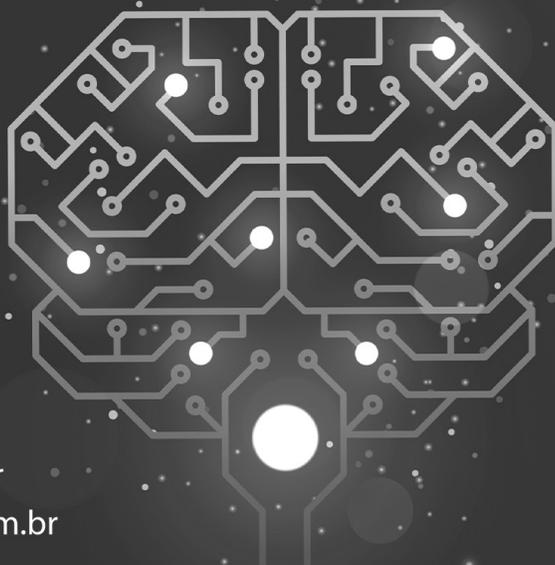
Termogravimétrico 66, 67, 69, 72, 74, 75

V

Veículos elétricos 12, 13, 16, 17, 20

ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade
e inovação tecnológica 5



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade
e inovação tecnológica 5



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

