

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(Organizador)

# ENGENHARIA EM PERSPECTIVA:

ciência, tecnologia e inovação



**Atena**  
Editora  
Ano 2025

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(Organizador)

# ENGENHARIA EM PERSPECTIVA:

ciência, tecnologia e inovação



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2025 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2025 O autor

Copyright da edição © 2025 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelo autor.

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

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para 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 – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaina/TO  
 Profª Drª Cristina Aledi Felsemburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará  
 Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul  
 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  
 Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa  
 Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco  
 Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz  
 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  
 Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa  
 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  
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo  
 Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
 Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas  
 Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá  
 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 Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina  
 Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
 Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina  
 Prof. 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

## Engenharia em perspectiva: ciência, tecnologia e inovação

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia em perspectiva: ciência, tecnologia e inovação /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. –  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-3085-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.858251902>

1. Engenharia. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva  
(Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

## DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, 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 da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza 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 da obra publicada, 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. A editora pode disponibilizar a obra em seu site ou aplicativo, e o autor também pode fazê-lo por seus próprios meios. Este direito se aplica apenas nos casos em que a obra não estiver sendo comercializada por meio de livrarias, distribuidores ou plataformas parceiras. Quando a obra for comercializada, o repasse dos direitos autorais ao autor será de 30% do valor da capa de cada exemplar vendido; 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. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a editora não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como quaisquer outros dados dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Engenharia em perspectiva: ciência, tecnologia e inovação” é constituído por cinco capítulos de livros que avaliaram: i) sistema construtivo do patrimônio edificado; ii) continuidade do fornecimento de energia elétrica; iii) avanços sustentáveis no segmento da agroindústria e; iv) redução de gás carbônico e mitigação climática; v) desempenho hidroenergético.

O primeiro capítulo analisou a valorização e salvaguarda do sistema construtivo de edificações patrimoniais do século XIX que compõem o Centro Histórico de São Luís, capital do estado do Maranhão. A análise se fundamentou na reflexão teórica e conceitual em relação aos valores atribuídos ao patrimônio cultural, bem como as concepções preservacionistas de inúmeros teóricos e recomendações de diferentes documentos patrimoniais nacionais e internacionais com vistas ao desenvolvimento sustentável.

O capítulo 2, avaliou a qualidade do fornecimento de energia elétrica com vistas a garantir a continuidade do fornecimento como primordial para a continuidade de todos os trabalhos e segmentos que necessitam do fornecimento contínuo de eletricidade. Diante disso, inúmeros indicadores de desempenho (DEC e FEC) foram avaliados, sendo que galhos e árvores foram indicados como os maiores responsáveis pela interrupção do serviço de rede elétrica.

O terceiro capítulo investigou os diferentes processos produtivos aplicados no segmento da agroindústria, bem como a sua importância, desafios e as inúmeras oportunidades. Dentre os aspectos analisados estavam: a seleção e gestão de culturas, técnicas de colheita e pós-colheita, inovações tecnológicas e estratégias de gestão da cadeia de abastecimento. Os estudos apontaram: i) a necessidade de melhorar a eficiência dos processos agroindustriais; ii) maximizar a produção e otimizar os recursos necessários para a gestão de toda a cadeia produtiva; iii) implementar tecnologias de maior precisão e gestão da eficiência; iv) adoção de práticas mais sustentáveis e; v) melhoria da qualidade de produtos agroindustriais.

O quarto capítulo avaliou a valorização de emissões biogênicas de CO<sub>2</sub> no segmento industrial, com vistas a reduzir a redução de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, mitigando a crise climática pelo o qual todo o planeta Terra passa na atualidade.

Por fim, o quinto capítulo analisou o estudo detalhado da eficiência hidroenergética e as oportunidades para implantação de estratégias sustentáveis na edificação do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) – UNICAMP – reduzindo os consumos de energia e de água, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e 12 da ONU.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a

publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
O VALOR DO SISTEMA CONSTRUTIVO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO	
Margareth Gomes de Figueiredo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519021">https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519021</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>13</b>
ANÁLISE DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE DO SERVIÇO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA APÓS AÇÕES DE DESBASTE DA VEGETAÇÃO AO LONGO DE UM ALIMENTADOR	
Adjeferson Custódio Gomes	
Luís Ricardo Cândido Cortes	
Nayre Moema Freitas Rocha	
Fabiano Rodrigues Soriano	
Adi Neves Rocha	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519022">https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519022</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>27</b>
AVANCES SOSTENIBLES EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL: EFICIENCIA, CALIDAD Y TECNOLOGÍA INNOVADORA	
Ronald Astete Tebes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519023">https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519023</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>37</b>
CONVERTING CO <sub>2</sub> EMISSIONS FROM BIO-BASED INDUSTRIES INTO SUSTAINABLE CHEMICALS TO MITIGATE CLIMATE CHANGE: A PRACTICAL METHODOLOGY FROM THE PERSPECTIVE OF THE R&D PROJECTS	
Raúl Piñero Hernanz	
José María Sanz Martín	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519024">https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519024</a>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>55</b>
DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO E CONFORTO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES DE CENTROS E NÚCLEOS DA UNICAMP	
Mauro D. Berni	
Paulo C. Manduca	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519025">https://doi.org/10.22533/at.ed.8582519025</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>68</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>69</b>

## O VALOR DO SISTEMA CONSTRUTIVO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO

*Data de submissão: 08/01/2025*

*Data de aceite: 05/02/2025*

**Margareth Gomes de Figueiredo**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA

Valor, Sistema Construtivo

**RESUMO:** O presente artigo analisa a valorização e salvaguarda do sistema construtivo de edificações patrimoniais, tendo como estudo de caso a arquitetura civil do século XIX do Centro Histórico de São Luís do Maranhão. Considerando-se a temática central aqui estudada, apresentou-se uma breve reflexão teórica e conceitual sobre os valores atribuídos ao patrimônio cultural edificado, com vista a sua salvaguarda nos processos de reabilitação. Foram apresentados noções e conceitos sobre sistema construtivo; as concepções preservacionistas de alguns teóricos e as recomendações dos documentos patrimoniais nacionais e internacionais. Para o desenvolvimento e coordenação das ideias, o estudo foi subdividido nos itens: 1 Introdução; 2 Conceitos de sistema construtivo; 3 Valores atribuídos ao patrimônio edificado; 4 Salvaguarda do patrimônio edificado; 5 Considerações finais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Patrimônio edificado,

**ABSTRACT:** This study analyzes the valorization and safeguarding of the construction system of heritage buildings, using as a case study the 19th century civil architecture of the Historic Center of São Luís do Maranhão. Considering the central theme studied here, a brief theoretical and conceptual reflection was presented on the values attributed to built cultural heritage, with a view to its safeguarding in rehabilitation processes. Notions and concepts on the construction system were presented; the preservationist conceptions of some theorists and the recommendations of national and international heritage documents. For the development and coordination of ideas, the chapter was subdivided into the following items: 1 Introduction; 2 Concepts of construction system; 3 Values attributed to built heritage; 4 Safeguarding of built heritage; 5 Final considerations.

**KEYWORDS:** Built heritage, Value, Construction System

## 1 | INTRODUÇÃO

O estudo analisa a valorização e salvaguarda do sistema construtivo das edificações de arquitetura civil do século XIX, nomeadamente em relação às intervenções a que são submetidas, devido à necessidade de adaptação a usos e funções da vida contemporânea. O trabalho, adota como estudo de caso o centro histórico de São Luís, capital do Estado do Maranhão, que possui um expressivo patrimônio de arquitetura civil, com características lusitanas, remanescente dos séculos XVIII e XIX. O conjunto arquitetónico é um legado do período áureo da economia do Maranhão, que na metade do século XVIII, e durante o século XIX passou por um período de enriquecimento econômico tendo como base de investimento financeiro a exportação de arroz e algodão.

## 2 | CONCEITO DE SISTEMA CONSTRUTIVO

Arquitetura, para o arquiteto Lúcio Costa, cujo conceito adota-se neste estudo, “é antes de mais nada, construção, mas construção concebida com o propósito primordial de ordenar e organizar o espaço para determinada finalidade e visando uma determinada intenção” (Costa, 1995, p. 126).

A arquitetura, enquanto projeto e construção, resulta de um sistema construtivo unificado que, de acordo com engenheiro romano Vitrúvio, no seu relevante Tratado de Arquitetura, escrito há mais de 2000 anos, comporta três princípios que se integram: *Firmitas, utilitas e venustas*, traduzindo-se do latim para o português, respectivamente, solidez, funcionalidade e beleza. Assim, conforme Vitrúvio, as edificações,

deverão ser realizadas de modo a que se tenham presentes os princípios da solidez, da funcionalidade e da beleza. O princípio da solidez estará presente quando for feito a escavação dos fundamentos até ao chão firme e se escolherem diligentemente e sem avareza as necessárias quantidades de materiais. O da funcionalidade, por sua vez, será conseguido se for bem realizada e sem qualquer impedimento a adequação ao uso do solo, assim como uma repartição apropriada e adaptada ao tipo de exposição solar de cada um dos gêneros. Finalmente, o princípio da beleza atingir-se-á quando o aspecto da obra for agradável e elegante e as medidas das partes corresponderem a uma equilibrada lógica de comensurabilidade (Maciel, 2007, p. 41).

No presente estudo sobre o valor do sistema construtivo do patrimônio edificado na arquitetura civil em São Luís do Maranhão no século XIX, procura-se, por meio de algumas noções e conceitos, inicialmente esclarecer o que se entende sobre sistema construtivo.

Na origem da palavra *systema* encontra-se o termo grego que significa reunião, junta e conjunto. O termo *sistema*, segundo o dicionário de Houaiss (2001), compreende, entre outras derivações, a inter-relação das partes, elementos ou unidades que fazem funcionar uma estrutura organizada; distribuição e classificação de um conjunto de elementos segundo uma ordem estabelecida.

Por sua vez, Houaiss (2001) define o termo construtivo, do latim *constructivus*, como sendo o “que serve para construir, que organiza, que põe em ordem”. A ação de construir é definida, no *Dicionário da arquitetura brasileira*, como “edificar, arquitetar, dispor da forma mais correta os fundamentos e as partes de um edifício, de uma casa, etc.” (Corona & Lemos, 1972, p. 142). O dicionário de termos técnicos de engenharia e construção, denominado *O Livro da Arte de Construir*, ao agregar ao termo sistema o adjetivo construtivo, define então “sistema construtivo” como “o conjunto das regras práticas, ou o resultado de sua aplicação, de uso adequado e coordenado de materiais e mão-de-obra para a feitura de uma construção ou parte dela” (Tacla, 1984, p. 394).

No âmbito deste estudo compactua-se com a ideia de Sabbatini (1989) que compreende um sistema construtivo como sendo constituído por um conjunto de elementos inter- relacionados e integrados em um processo construtivo. Para efeito deste raciocínio, e apenas para facilitar a análise didática do entendimento das partes que compõem a base estrutural de um sistema construtivo, considerou-se como subsistemas construtivos: as fundações; as paredes (estruturais e divisórias); os pavimentos; as escadas e as coberturas.

### 3 I VALORES ATRIBUÍDOS AO PATRIMÔNIO EDIFICADO

Identificar os valores atribuídos às estruturas urbanas de interesse histórico, artístico e natural é imprescindível, para nortear os processos de intervenções que visem à preservação de um sítio histórico. O conceito de valor atribuído a um objeto,

assume uma variedade praticamente infinita de significados que não cessam de se desdobrar, tornando a sua análise cada vez mais complexa e sempre incompleta, exigindo contínua reflexão. Complexa e incompleta, porque a acepção da palavra valor, inserida nos mais diferentes tempos e espaços, varia de indivíduo a indivíduo, de grupo social a grupo social, de sociedade a sociedade (Lacerda, 2002, p. 59).

Considerando-se a abrangência de significados dos valores que podem ser atribuídos a um monumento, no âmbito deste estudo, procurou-se, por meio de algumas noções e conceitos, esclarecer o que se entende sobre valores atribuídos ao sistema construtivo do patrimônio cultural edificado.

No final do século XIX o historiador de artes vienense Alois Riegl (1858-1905), no seu trabalho *O culto moderno dos monumentos (Der moderne Denkmalkultus)*, publicado em 1903, foi o primeiro a apresentar uma análise crítica sobre o conceito e valores atribuídos aos monumentos. Riegl apresentou com clareza a distinção entre “o monumento e o monumento histórico, cuja origem ele situa, em algumas linhas na Itália no século XVI. Tendo sido também o primeiro a definir o monumento histórico a partir de valores de que foi investido no curso da história [...]” (Choay, 2001, p. 168).

A discussão sobre valores das estruturas ambientais de interesse histórico e artístico, torna-se complexa por envolver bens materiais e imateriais, num sistema de objetos e ações.

Se, por um lado, o sistema de objetos nada mais é do que o resultado das ações humanas e, portanto herança da história, por outro, o sistema de ações é impulsionado pelas necessidades materiais e imateriais (econômicas, sociais, políticas, culturais, morais, afetivas). Considerar a interação desses dois sistemas é essencial no processo de busca do desenvolvimento sustentável de uma EU [Estrutura Urbana]. (Lacerda, 2002, p. 60).

Diante da complexidade de significados e valores intrínsecos que um bem cultural pode assumir, no caso dos valores atribuídos ao sistema construtivo das edificações tradicionais, classifica-se nesse trabalho como fundamentais, sob a ótica de bens culturais, os seguintes valores: de uso, de troca, econômico, histórico e artístico.

Segundo Marx (1996) o valor de uso de um objeto é determinado conforme a utilidade associada às suas propriedades físicas, uma vez que estas satisfaçam as necessidades do homem. Na teoria de Marx o valor de uso possui uma relação dialética com o valor de troca, ou seja, enquanto as propriedades físicas de um objeto definem o valor de uso numa relação qualitativa, o valor de troca é quantitativo e expressa-se em termos monetários.

O valor de uso realiza-se somente no uso ou no consumo. Os valores de uso constituem o conteúdo material da riqueza, qualquer que seja a forma social desta. Na forma de sociedade a ser por nós examinada, eles constituem, ao mesmo tempo, os portadores materiais do - valor de troca (Mark, 1996, p. 166).

De acordo com Marx (1996), o valor de troca aparece, de início, como a relação quantitativa, a proporção na qual valores de uso de uma espécie se trocam contra valores de uso de outra espécie, uma relação que muda constantemente no tempo e no espaço.

O estatuto do valor de uso formulado por Marx é considerado ambíguo por Baudrillard (1972), que pondera, ao comentar que um bem que tem uso, necessariamente não quer dizer que tenha valor de troca, concluindo que,

o valor de uso não está implicado na lógica da equivalência. Aliás, pode haver valor de uso sem que haja valor de troca (tanto para a força de trabalho como para os produtos, fora da esfera do mercado). Mesmo se é continuamente recaptado pelo processo de produção e de troca, o valor de uso não se inscreve verdadeiramente no campo da economia mercantil: tem a sua finalidade própria e mesmo restrita. (Baudrillard, 1972, p. 129).

Os argumentos de Baudrillard sobre imóveis com valor de uso sem que haja valor de troca são recorrentes no centro histórico de São Luís, pois muitas edificações, em estado de deterioração abrigam famílias, que ali residem há muitos anos, sem nenhum poder aquisitivo para compra ou recuperação do imóvel.

É importante perceber que esses valores (uso, troca, econômico, histórico e artístico) se complementam e muitas vezes são imbricados entre si. A leitura separadamente de cada tipo de valor, aqui praticada, é apenas um expediente didático, pois a um mesmo objeto pode-se atribuir diversos valores, que podem variar no tempo e no espaço, como também de sociedade para sociedade.

A preservação de bens do patrimônio cultural edificado é favorecida, entre outros atributos, pelo valor econômico atribuído ao uso ou função do imóvel. O valor econômico do patrimônio cultural edificado

reside na utilização dos bens, no caso das estruturas urbanas de interesse histórico, artístico e cultural, das edificações, para os quais se pode identificar uma demanda. Monumentos, conjunto de elementos, sítios históricos podem ser utilizados para abrigar atividades habitacionais, administrativas, comerciais ou culturais (Lacerda, 2002, p. 60).

Para os autores Jokilehto & Feilden (1995), o valor econômico pode ser implementado por meio das demandas do turismo, do comércio, além de outros usos que tragam atrações para o sítio histórico. No entanto os autores advertem que o desenvolvimento econômico de um bem cultural deve visar o enfoque de custo benefício que favoreça a conservação do imóvel, pois uma gestão mal conduzida pode gerar problemas indesejáveis ou até mesmo a destruição do bem.

Considera-se que os valores de uso, troca e econômico são importantes para promover a preservação de um bem imóvel, no entanto, são os valores histórico e artístico que expressam o apropriado significado cultural de um bem, de um monumento.

Sobre os valores histórico e artístico, Riegl (1989), no documento de culto aos monumentos, define como obra de arte toda obra humana, que apresente valor artístico e como monumento histórico toda obra que possua “valor histórico”. É histórico

tudo o que foi e hoje não é mais. No momento atual, a este termo acrescentamos, ainda, a idéia de que aquilo que foi não poderá nunca mais se reproduzir e de que tudo que foi constitui um elo insubstituível e demovível' de uma corrente de desenvolvimento. Em outras palavras: cada estágio supõe um antecedente sem o qual ele não teria podido existir (Riegl, 1989, p. s/n).

Para Riegl (1989) os valores históricos e artísticos de um monumento estão imbricados, ao considerar que um “monumento artístico” é também “monumento da história da arte”.

Neste sentido, portanto, o “monumento artístico” é, na realidade, um “monumento da história da arte”; e seu valor, considerado deste ponto de vista, é menos “artístico” que “histórico”. Daí resulta que a distinção entre monumentos artísticos e monumentos históricos não é pertinente, estando os primeiros incluídos nos segundos, com eles se confundindo, (Riegl, 1989. p. s/n).

## 4 | SALVAGUARDA DO PATRIMÔNIO EDIFICADO

Diante da crescente demanda de revitalização de edificações em sítios históricos, a salvaguarda do patrimônio edificado é um tema que vem sendo cada vez mais estudado por especialistas no Brasil, seja para mantê-los em funcionamento ou para abrigar novos usos e funções.

Para fins de simplificar o entendimento do vocabulário sobre a salvaguarda de bens culturais, adota-se nesse estudo algumas definições contidas na Carta de Burra, documento resultante do encontro do ICOMOS, realizado na Austrália em 1980:

a expressão *significação cultural* designará o valor estético, histórico, científico ou social de um bem para as gerações passadas, presentes ou futuras;

*substância* será o conjunto de materiais que fisicamente constituem o bem;

o termo *manutenção* designará a proteção contínua da substância, do conteúdo e do entorno de um bem e não deve ser confundido com o termo *reparação*. A reparação implica a restauração e a reconstrução, e assim será considerada;

*restauração* será o restabelecimento da substância de um bem em um estado anteriormente conhecido;

*reconstrução* será o restabelecimento, com o máximo de exatidão, de um estado anterior conhecido; ele se distingue pela introdução na substância existente de materiais diferentes, sejam novos ou antigos. A reconstrução não deve ser confundida nem com a criação, nem com a reconstrução hipotética, ambas excluídas do domínio regulamentado pelas presentes orientações;

*adaptação* será o agenciamento de um bem a uma nova destinação, sem a destruição de sua significação cultural;

a expressão *uso compatível* designará uma utilização que não implique mudança na significação cultural da substância, modificações que sejam substancialmente reversíveis ou que requeiram um impacto mínimo. (Cury 2004, p. 247-248).

As bases teóricas mais difundidas sobre a salvaguarda do patrimônio edificado praticadas pelos países que compõem o ICOMOS, originam-se na Europa, no final do século XIX, em duas linhas teóricas, de caráter antagônico, reportando-se às edificações monumentais e obras de arte. A primeira corrente de pensamento, defendida pelo arquiteto francês Viollet-le-Duc, fundamentava-se no pressuposto de que a intervenção restauradora deveria ter como base o conhecimento do projeto ou do autor pois, a partir daí, seria possível recompor o monumento à forma em que fora idealizado. A doutrina de Le Duc pode ser resumida numa frase do seu *Dictionnaire*: “Restaurar um edifício é restituí-lo a um estado completo que pode nunca ter existido num momento dado” Choay (2001, p. 156). Em outros termos, as intervenções de Viollet-le-Duc visavam a manutenção da coerência estética e estrutural do monumento, configurando-se em uma restauração estilística.

De acordo com Choay (2001), a segunda teoria, que teve como principal defensor o escritor e crítico de arte John Ruskin (1819-1900), considerado anti-intervencionista, pelas suas ideias, contrapunha-se radicalmente à restauração estilística proposta por Viollet-le-Duc, não admitindo qualquer intervenção no edifício. Era contrário a qualquer restauração, defendendo a conservação das marcas que o tempo imprimira no edifício como parte de sua essência.

O italiano Camillo Boito (1836-1914), engenheiro, arquiteto, historiador e crítico

de arte defendem, no século XX, uma teoria que pode ser considerada uma síntese das doutrinas adotadas por Viollet-le-Duc e Ruskin. Para Camillo Boito é importante o respeito à autenticidade (Ruskin), recusando, portanto, a reconstituição (Le Duc) das partes desaparecidas. Para Boito a restauração é vista com um meio de salvaguarda limite, quando todos os outros meios estiverem fracassados (manutenção, reparação, consolidação). Os conceitos bases de Boito compreendem: autenticidade, hierarquia de intervenções e restauração. Sendo assim o movimento conservacionista defendido por Boito, entre outras diretrizes,

enfaticava a manutenção dos materiais históricos de todos os períodos, assegurando que as novas intervenções fossem claramente marcadas, por exemplo, diferenciando-as ou datando-as. Um prédio histórico era visto de forma similar a um manuscrito antigo, onde era necessário manter a leitura do texto antigo, e fazer novas interpretações distintas e reversíveis caso houvesse necessidade de revisá-las (Jokilehto, 2002, p. 13).

Entre os preservacionistas contemporâneos, destaca-se o italiano Cesari Brandi (1906-1988), que por sua experiência na área do restauro produziu o relevante trabalho *Teoria do Restauro*, no qual define a restauração “como um momento metodológico do reconhecimento da obra de arte, na sua consistência física e na sua dúplice polaridade estética e histórica, com vistas à sua transmissão para o futuro” (Brandi, 2004, p. 30). Considera a estética como qualidade artística inerente à obra de arte e a instância histórica como um produto realizado pelo homem em um determinado tempo e lugar.

Convém ressaltar que, para Brandi (2004), instância histórica contempla tanto o momento da criação da obra como os períodos posteriores. Admite como premissa que “restaura-se somente a matéria da obra de arte” (Brandi, 2004, p. 31), e considera como um dos princípios da restauração que esta “deve visar ao restabelecimento da unidade potencial da obra de arte, desde que isso seja possível sem cometer um falso artístico ou um falso histórico, e sem cancelar nenhum traço da passagem da obra de arte no tempo” (Brandi, 2004, p. 33).

Para além das teorias e textos clássicos de autores (Viollet-le-Duc, Ruski, Boito, Brandi), registra-se aqui, pela relevância de seus estudos, a contribuição de Gracia (1992), especialista na área de preservação e restauro do patrimônio cultural.

Gracia (1992), na obra publicada com o título *Construir en lo Construido, La arquitectura como modificación*, faz uma ampla análise sobre as relações que possam existir na intervenção de edificações tradicionais e na inserção da arquitetura moderna na cidade tradicional. O autor reconhece, que antes de qualquer intervenção, existe a necessidade de análises e reflexões, sobre a realidade das edificações construídas, como instrumento essencial para manter a continuidade histórica da arquitetura.

Todo lugar hecho presencia merced a la acción constructiva es singular. De ahí que nueva intervención modificadora deba reconocer la categoría de *unicum* que cualquier marco espacial merece. Deberían incorporarse, em

consecuencia, ciertas garantías en la transformación del lugar de manera que mejora y modificación fueran sempre términos compatibles y a la vez no se adulterase su especificidad (Gracia, 1992, p. 177).

Além dos preservacionistas já citados registra-se a contribuição contida em muitos documentos patrimoniais, por meio de cartas, recomendações e declarações publicadas como manifestação conclusiva dos encontros e reuniões internacionais, a maioria realizada pelo ICOMOS, relativas à preservação e proteção do patrimônio cultural, iniciadas desde a década de 1930 até os dias atuais. Esses documentos, dependendo do tema de cada encontro, apresentam uma ampla abordagem sobre a preservação dos bens culturais, desde o patrimônio arquitetônico, aos sítios arqueológicos e bens imateriais. Nesse estudo destacam-se alguns dos documentos patrimoniais que apresentam conceitos e recomendações sobre a salvaguarda do patrimônio cultural edificado.

A Carta de Atenas (1931), primeiro documento desses encontros internacionais, entre outras abordagens, recomenda, quando se refere à valorização dos monumentos, que deve-se “respeitar, nas construções dos edifícios, o caráter e a fisionomia das cidades, sobretudo na vizinhança dos monumentos, cuja proximidade deve ser objeto de cuidados especiais” (Cury 2004, p. 14).

A Carta de Veneza documento patrimonial resultante do 2º Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos, realizado pelo Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS), em 1964 reúne um consenso de ideias preservacionistas, até hoje é adotada pelos países que anuíram às suas recomendações, inclusive o Brasil.

A propósito da restauração dos monumentos e sítios históricos, a Carta de Veneza apresenta algumas diretrizes a serem observadas, a exemplo das seguintes: a restauração deve ser de caráter excepcional; os materiais utilizados na restauração devem ser originais; os procedimentos devem estar fundamentados em documentos autênticos; podem ser utilizadas técnicas modernas desde quando as técnicas tradicionais forem inadequadas para a consolidação do monumento; devem ser respeitados, quando válidos, os elementos acrescentados ao monumento em diferentes épocas; quando houver substituição de partes faltantes, o procedimento deve primar pela harmonia do conjunto, assim como deve cuidar para que fique clara a distinção entre a parte em que houve intervenção e a que se mantém original (Cury, 2000).

A Carta do Restauo, documento divulgado em 1972 pelo Ministério da Instrução Pública do governo italiano sobre normas e instruções estabelecidas para intervenções de restauração em obra de arte, apresenta, entre outras instruções, o ANEXO B, que trata de critérios das restaurações arquitetônicas onde se destaca que:

Sempre com o objetivo de assegurar a sobrevivência dos monumentos, vem-se considerando detidamente a possibilidade de novas utilizações para os edifícios monumentais antigos, quando não resultarem incompatíveis com os interesses histórico-artísticos. As obras de adaptação deverão ser limitadas ao mínimo, conservando escrupulosamente as formas externas e evitando

alterações sensíveis das características tipológicas, da organização estrutural e da seqüência dos espaços internos (Cury 2000, p. 157).

Ainda com relação ao sistema construtivo a Carta do Restauro afirma que:

Uma exigência fundamental da restauração é respeitar e salvaguardar a autenticidade dos elementos construtivos [...]. No caso de paredes em desaprumo, por exemplo, mesmo quando sugiram a necessidade peremptória de demolição e reconstrução, há que se examinar primeiro a possibilidade de corrigi-los sem substituir a construção original (Cury 2004, p. 158).

Na publicação *Manual para el manejo de los Sitios Culturales del Patrimonio Mundial*, da UNESCO, Jokilehto & Feilden (1995), argumentam que para um monumento ou sítio seja incluído na Lista de Patrimônio Mundial, deve cumprir o critério da autenticidade que, por sua vez, está relacionado a quatro aspectos: o desenho, a técnica construtiva (mão-de-obra), o material e o entorno. Na Tabela 2 estão resumidos os diferentes requisitos para conceituar a autenticidade de um bem cultural, assim como algumas orientações sobre ações apropriadas para a conservação dessa autenticidade, conforme o recomendado pelo Comitê de Patrimônio Mundial.

A Declaração de Amsterdã, documento formulado no Congresso do Patrimônio Arquitetônico Europeu, realizado em 1975, afirma que a proteção do patrimônio arquitetônico deve apoiar-se nos princípios de conservação integrada, tendo como um dos objetivos o planejamento das áreas urbanas e o planejamento físico-territorial. Para tanto, requer medidas interinstitucionais de ordem legislativa, administrativa, financeira e educativa. Outra questão importante é quando chama atenção para os cuidados que devem envolver o patrimônio edificado, de modo que não sofra as consequências advindas de “negligência e deterioração, demolição deliberada, novas construções em desarmonia e circulação excessiva” (Cury, 2000, p. 200).

Outro importante encontro da UNESCO ocorrido em Nairóbi, em 1976, resultou na Recomendação Relativa à Salvaguarda dos Conjuntos Históricos e sua Função na Vida Contemporânea. Entre suas sugestões destaca-se a recomendação que os conjuntos históricos ou tradicionais devem ser protegidos e integrados na dinâmica da vida cotidiana, tendo em vista sua significância enquanto testemunhos da cultura dos diferentes povos, chegando a ponto de considerar que a salvaguarda e a integração desses conjuntos deveriam ser uma obrigação dos Estados.

AÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DA AUTENTICIDADE DE UM BEM CULTURAL / COMITÊ DE PATRIMÔNIO MUNDIAL		
Critério de autenticidade	Requisito	
Desenho	Evidenciar	Os elementos artísticos, arquitetônicos e de engenharia; tratando-se de sítios ou paisagem, mostrar com clareza seu contexto.
	Objetivo do tratamento	Respeitar o desenho original da estrutura, arquitetura e conjunto urbano ou rural
	Implementar	A conservação, manutenção, recuperação, consolidação, restauração e anastilose, em harmonia com as intenções do desenho.
Técnica Construtiva	Evidenciar	Tecnologias de construção e técnicas de tratamento de materiais e estruturas.
	Objetivo do tratamento	Respeitar a evidência da técnica construtiva original, dos materiais e sistemas estruturais
Material	Implementar	A conservação e manutenção dos materiais e estruturas originais, por meio de mão-de-obra especializada, visando a harmonia entre partes novas e as restauradas
	Evidenciar	Materiais de construção originais, marcas de diferentes fases da história e o processo de envelhecimento.
	Objetivo do tratamento	Respeitar os materiais históricos, distinguindo-os dos novos, de forma a não enganar o observador.
Contexto	Implementar	A manutenção e conservação dos materiais, respeitando-se sua relação com os períodos de construção.
	Evidenciar	A localização sítio ou do bem cultural, de acordo com os períodos de sua construção.
	Objetivo do tratamento	Manter o bem cultural no seu lugar original, respeitando-se sua relação com o entorno.
	Implementar	Planejamento e controle, visando a conservação urbana ou territorial e a conservação integrada

Tabela 1: Ações para a conservação da autenticidade de um bem cultural / Comitê de Patrimônio Mundial. Fonte: Figueiredo, 2006.

O documento de Nairóbi também enfatiza que todos os trabalhos de restauração a serem empreendidos nesses conjuntos devem basear-se em princípios científicos, recomendando cuidado na regulamentação e no controle das novas construções, para que se harmonize com suas estruturas espaciais e ambientais (Cury, 2000). Sendo assim, é indispensável que se efetue

uma análise do contexto urbano antes de se proceder qualquer construção nova, não só para definir o caráter geral do conjunto, como para analisar suas dominantes: harmonia das alturas, cores, materiais e formas, elementos constitutivos do agenciamento das fachadas e dos telhados, relações dos volumes construídos e dos espaços, assim como suas proporções médias e a implantação dos edifícios. Uma atenção especial deveria ser prestada à

dimensão dos lotes, pois qualquer modificação poderia resultar em um efeito de massa, prejudicial à harmonia do conjunto (Cury, 2000, p. 227).

O escopo teórico dos documentos patrimoniais, relativos aos bens imóveis, produzidos da década de 1930 até os dias atuais, revela, na sua trajetória, a evolução das ideias preservacionistas, que partem da valorização do monumento, depois amplia a noção de conservação para englobar os conjuntos históricos tradicionais e, por fim, supera essa noção até abranger não apenas os antigos centros, mas todas as estruturas urbanas que tenham adquirido valor como testemunho histórico e artístico de uma sociedade. Nesses documentos estão propostos elementos para a implementação de políticas de desenvolvimento econômico, cultural e social dos conjuntos e sítios históricos, a partir de um planejamento físico-territorial integrando-os à dinâmica da cidade contemporânea.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto considera-se que as intervenções em estruturas urbanas e edificações de interesse patrimonial deverão limitar-se às ações que respeitem a autenticidade e os valores patrimoniais, visando à conservação dos bens culturais, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável, que contemple a geração atual sem comprometer a sua utilização por futuras gerações.

## REFERÊNCIAS

- Baudrillard, J. (1972). *Para uma crítica da economia política do signo*. Lisboa: Edições 70, Ltda.
- Brandi, C. (2004). *Teoria da restauração*. São Paulo: Ateliê Editorial. Choay, F. (2001). *A alegoria do patrimônio*. São Paulo: UNESP.
- Corona, E. & Lemos, C. (1972). *Dicionário da arquitetura brasileira*. São Paulo: Livraria Editora.
- Costa, L. (1995). *Registro de uma vivência*. São Paulo: Empresa das Artes.
- Cury, I. (Org.) (2004). *Cartas Patrimoniais* (3.<sup>a</sup> Ed.). Rio de Janeiro: Edições do patrimônio/IPHAN.
- Figueiredo, M. (2006). *Espelho do Tempo - conservação da autenticidade do espaço público dos conjuntos patrimoniais edificados: O caso do centro histórico de São Luís* (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Urbano). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Gracia, F. (1992). *Construir en lo Construido – La arquitectura como modification*. Madrid: Editorial NEREA, S.A.
- Houaiss, A. (2001). *Dicionário Eletrônico Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva.
- Jokilehto, J. (2002). Conceitos e ideias sobre conservação. In S. Zancheti (Org.) *Gestão do patrimônio cultural integrado* (pp. 13-19). Recife: Ed. Universitária da UFPE.
- Jokilehto, J. & Feilden, B. M. (1995). *Manual para el manejo de los sitios culturales del Patrimonio Mundial*. Bogotá: Instituto Colombiano de Cultura – Colcultura.

Lacerda, N. (2002). Os valores das estruturas ambientais urbanas: considerações teóricas. In

S. Zancheti (Org.) *Gestão do Patrimônio Cultural Integrado* (pp. 59-64). Recife: Ed. Universitária da UFPE.

Maciel, M. J. (2007) *Vitrúvio Tratado de Architectura* (Tradução do Latim). Lisboa: IST PRESS.

Marx, K. (1996). *O Capital* (capítulo 1). São Paulo: Editora Nova Cultural Ltda. Disponível em: [http://www.histedbr.fae.unicamp.br/acer\\_fontes/acer\\_marx/ocapital-1.pdf](http://www.histedbr.fae.unicamp.br/acer_fontes/acer_marx/ocapital-1.pdf). Acesso a 06/05/13.

Riegl, A. (1989). *O culto moderno dos monumentos*. São Paulo: Revista de Museologia, 1 (1), 17-23.

Tacla, Z. (1984). *O Livro da arte de construir*. São Paulo: Unipress Editorial Ltda.

# ANÁLISE DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE DO SERVIÇO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA APÓS AÇÕES DE DESBASTE DA VEGETAÇÃO AO LONGO DE UM ALIMENTADOR

Data de submissão: 22/01/2025

Data de aceite: 05/02/2025

### **Adjeferson Custódio Gomes**

UESC – Universidade Estadual de Santa Cruz

### **Luís Ricardo Cândido Cortes**

FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

### **Nayre Moema Freitas Rocha**

UESC – Universidade Estadual de Santa Cruz

### **Fabiano Rodrigues Soriano**

UESC – Universidade Estadual de Santa Cruz

### **Adi Neves Rocha**

UESC – Universidade Estadual de Santa Cruz

anos, possibilitou aos profissionais das Concessionárias, identificar que parte das interrupções que afetam os indicadores de qualidade é ocasionada por galhos em contato com a rede de distribuição e árvores que caem sobre os condutores, resultando em desligamentos não programados na rede. Diante dessa problemática, o presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos diretos da limpeza das faixas de servidão e desbastes da vegetação em locais onde a incidência de interrupções no fornecimento de energia devido à vegetação é frequente.

**PALAVRAS-CHAVE:** ANEEL, Concessionária, Continuidade, Distribuição de Energia Elétrica, Qualidade da Energia Elétrica.

**RESUMO:** A qualidade do fornecimento de energia elétrica é um aspecto crucial para garantir a satisfação dos consumidores e atender às regulamentações impostas pela agência reguladora ANEEL. Neste sentido, a continuidade, tornou-se uma preocupação primordial, e indicadores como o DEC e o FEC, desempenham um papel fundamental na avaliação da continuidade do serviço. O *know how* adquirido ao longo dos

**ANALYSIS OF THE CONTINUITY INDICATORS OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY SERVICE AFTER THINNING ACTIONS OF VEGETATION THROUGHOUT FROM A FEEDER**

**ABSTRACT:** The quality of electricity supply is a crucial aspect to ensure consumer satisfaction and comply with the regulations imposed by the regulatory agency ANEEL.

In this sense, continuity has become a primary concern, and indicators such as the DEC and the FEC play a key role in assessing the continuity of the service. The knowledge acquired over the years has enabled Dealership professionals to identify which part of the continuations that concluded the quality indicators is caused by branches in contact with the distribution network and trees that fall on the conductors, which occurred in unscheduled shutdowns in the network. Faced with these problems, the present work aims to analyze the direct impacts of cleaning right-of-way and thinning vegetation in places where the incidence of continuous non-supply of energy due to vegetation is frequent.

**KEYWORDS:** ANEEL, Concessionaire, Continuity, Electricity Distribution, Electricity Quality.

## 1 | INTRODUÇÃO

A necessidade por energia elétrica é evidente na contemporaneidade. Aliado a esta crescente demanda, se multiplicam as preocupações no que diz respeito à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) [15].

Dada a sua importância, há uma crescente necessidade de estudo e pesquisa sobre os temas relacionados à QEE. Esta demanda proporciona intenso envolvimento de variados setores da sociedade, que necessitam de soluções práticas para os problemas diagnosticados nas redes de distribuição ou em grandes consumidores, como as indústrias [15].

Em uma primeira análise, a preocupação maior se dá com a continuidade do serviço, já que fica evidente que qualquer interrupção afeta diretamente os consumidores finais, implicando em uma desordem do sistema [13]

Nesse cenário, o agente distribuidor e o consumidor da energia elétrica mantêm um relacionamento de cumplicidade para que, dentro de uma gestão saudável, ambos possam manter as suas atividades com o menor índice de interrupções e defeitos possíveis. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) possui o compromisso de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, atuando de forma a garantir que este setor possa ser continuamente aprimorado, porém de maneira sustentável e equilibrada [12]

Além das concessionárias, as indústrias são normalizadas pela ANEEL de forma a possuírem metas de qualidade a serem empregadas com o intuito de não prejudicar a rede a qual está conectada. Os descumprimentos dessas normas podem resultar em penalidades e multas [12].

No Brasil, esses limites são estabelecidos pela ANEEL que regulamentou o termo através dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) - Módulo 8, tendo este como principal objetivo “estabelecer os procedimentos relativos à QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado e a qualidade do tratamento de reclamações” [2].

Este trabalho, tem como foco a “Qualidade do Serviço” prestado pelas permissionárias,

que compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Nesse cenário, deve-se observar que por ter um custo menor, o sistema de distribuição de energia é predominantemente do tipo aéreo na maioria dos países, esse tipo de rede se sujeita a influência externas da vegetação na Rede de Distribuição (RD), causando a interrupção no serviço e conseqüentemente diminuindo a confiabilidade do sistema [4].

Nessa conjuntura, um grande problema para as distribuidoras, que impacta diretamente no atendimento dos índices de qualidade do produto, é a interação entre as árvores e os condutores de energia da RD. A vegetação ao entrar em contato com o condutor nu energizado cria um caminho para a corrente elétrica gerando uma corrente elétrica de alta intensidade, provocando a atuação dos equipamentos de proteção do sistema elétrico e conseqüentemente a interrupção do sistema [10].

O controle para este tipo de problema é feito através da poda das árvores que estão junto a rede de distribuição. No geral, o serviço de poda se dá através de cortes programados, através de uma inspeção visual de áreas com vegetação abundante e próxima das redes ou através da reclamação do consumidor [11].

Segundo [16], para evitar danos causados pela vegetação, as empresas de distribuição de energia elétrica devem fazer manutenções auxiliadas por um programa (ou plano) de gestão para manutenções da vegetação, que se tornam eficazes em relação ao custo-benefício quando abordadas em longo prazo.

Destarte, no presente trabalho buscou-se avaliar a confiabilidade e continuidade ao longo de trechos da rede elétrica destinada a transportar energia elétrica em média tensão, denominada alimentador de distribuição. Esse processo se deu após uma ação de desbaste da vegetação em trechos críticos onde a atuação da proteção por consequência de árvores em contato com a rede ocorriam de forma recorrente, e além disso, ratificar a necessidade de podas de árvores por parte das concessionárias de energia de forma assertiva, onde a ação implica na redução positiva nos índices de QEE.

## **2 | CONCEITOS RELACIONADOS A ESTRUTURA DO SISTEMA ELÉTRICO**

A principal função do sistema de energia é fornecer aos usuários, energia com segurança e qualidade adequada, no instante em que for requerida [9]. Por não ser possível armazenar a energia gerada, todo o sistema deve manter um equilíbrio constante entre a produção e a demanda. Dentro de cada segmento de rede, existem níveis de tensão que permitem o estabelecimento de interfaces entre as concessionárias de energia que possuem suas concessões, como as subtransmissões, que são tensões entregues pelas concessionárias de transmissão e às concessionárias de distribuição [14].

Neste contexto, a proposta deste trabalho, tem por objetivo, intervenções para melhorias dos índices relacionados a continuidade do fornecimento de energia elétrica no sistema de distribuição.

O sistema de distribuição de energia é o que pode ser confundido com a própria topografia das cidades, ramificado ao longo de ruas e avenidas, atendendo zonas urbanas e rurais, desenhado para conectar fisicamente o sistema de transmissão, ou mesmo unidades geradoras de médio e pequeno porte, aos consumidores finais, garantindo o acesso à energia elétrica [1].

### **3 | TIPOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

Inúmeros são os tipos de redes de distribuição de energia elétrica, sendo que muitas vezes estes se encontram em circuitos mistos, acarretando diversas combinações entre redes de baixa e média tensão [8]. Por conseguinte, iremos destacar e definir os 4 tipos básicos de redes de distribuição.

#### **A. Rede de Distribuição Aérea Convencional (RDAC)**

A RDAC, também conhecida como “Rede Nua”, têm como característica o uso de condutores nus de alumínio ou cobre. [7].

A facilidade de encontrar em maior quantidade as RDAC, é justificado pelo seu custo inferior, no entanto, esse tipo de condutor tem uma susceptibilidade maior a interferência externa, principalmente quando se fala em área arborizadas e eventuais contatos de galhos com a rede, causando uma maior incidência de interrupção [8].

#### **B. Rede de Distribuição Compacta (RDC), Protegida ou Spacer Cable**

A RDC, é uma rede de distribuição aérea protegida composta por cabos cobertos por uma camada protetora de XLPE (poliuretano reticulado), que além do elemento condutor em alumínio, também possui uma cobertura polimérica que protege o condutor quanto a toques eventuais. Isto aumenta seu custo em relação aos condutores nus, mas também melhora significativamente a sua robustez e confiabilidade, e contribui para a redução no índice de descontinuidade [7].

Comparadas às redes aéreas tradicionais, as redes de distribuição compactas são uma solução tecnológica que permite às concessionárias de energia aumentar o nível de QEE, segurança e confiabilidade em seu fornecimento [3].

#### **C. Rede de Distribuição Isolada ou Multiplexada**

As multiplexadas, são redes aéreas isoladas constituídas por cabos multiplexados autossustentados fixados em postes por meio de estruturas metálicas. Estes cabos são compostos por três condutores, isolados e blindados, reunidos helicoidalmente ao redor de um cabo mensageiro de liga de alumínio que serve como sustentação. Devido ao custo

deste tipo de condutor ser relativamente maior que dos condutores protegidos, o custo de instalação da rede multiplexada é relativamente superior quando comparado ao custo de instalação de redes protegidas [7].

#### **D. Redes Subterrânea (RS)**

As RS, consistem em cabos isolados e blindados, lançados em dutos corrugados enterrados ou dispostos em leito de cabos dentro de canaletas ou galerias enterradas [7].

As redes de distribuição de energia subterrâneas são projetadas para fornecer energia de forma segura, confiável e eficiente. Esses sistemas são geralmente construídos usando materiais resistentes à corrosão, como aço inoxidável ou cobre. As redes de distribuição de energia subterrâneas também são projetadas para minimizar o impacto ambiental, reduzindo o número de postes de energia e linhas aéreas necessários, no entanto, esses sistemas ainda enfrentam alguns desafios, incluindo aumentos nos custos de construção e manutenção, bem como o risco de interrupções no fornecimento de energia [7].

### **4 | REGULAMENTAÇÃO**

O PRODIST foi publicado pela primeira vez no ano de 2008. Dos 11 módulos descritos no PRODIST, dois deles se destacam pela importância no setor elétrico brasileiro: o módulo 5, que diz respeito aos requisitos mínimos dos sistemas de medição e faturamento e o módulo 8, que trata dos aspectos referentes à qualidade da energia na distribuição de energia elétrica [5].

Em uma descrição mais detalhada, o módulo 8 do PRODIST apresenta a regulamentação da qualidade de energia elétrica, separando-a em 3 tópicos: qualidade de produto, qualidade comercial e qualidade do serviço [2].

A continuidade de serviço pode ser mensurada a partir de indicadores técnicos coletivos que dimensionam a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). Na prática, o índice DEC avalia o tempo médio em que consumidores de um determinado conjunto de carga mantiveram-se sem o fornecimento de energia elétrica em um certo período de tempo. Já o índice FEC representa a média da quantidade de interrupções de fornecimento de energia elétrica [2]

A ANEEL, visando manter a qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, exige que as distribuidoras mantenham um padrão de continuidade e exige a apuração desses indicadores para que sejam repassados periodicamente à agência reguladora. Nesse sentido, a ANEEL utiliza esses indicadores para avaliar a qualidade do serviço prestado pela distribuidora e para estabelecer condições mínimas de serviço por meio de metas de continuidade [2]

Nesse cenário, cada distribuidora tem seus limites de DEC e FEC definidos pela

ANEEL periodicamente nas Revisões Tarifárias Ordinárias [6].

## A. Indicadores Coletivos

Os indicadores coletivos são apurados por conjuntos de unidades consumidoras, sendo definidos pelas subestações de distribuição e a área de abrangência das redes de média tensão à jusante. Contabilizam-se então, todas as interrupções de energia elétrica com duração superior ou igual a 3 minutos nas unidades consumidoras de cada distribuidora, para o período considerado (mês, trimestre ou ano), o que permite que a agência avalie a continuidade da energia oferecida à população [5].

Para avaliação do desempenho de uma distribuidora, admite-se somente algumas exceções, são elas [5]:

- Interrupção oriunda de falha na instalação elétrica de um consumidor que não provoque interrupção em outras instalações;
- Interrupção decorrente de obra de interesse exclusivo de um consumidor e que afete somente ele próprio;
- Suspensão por falta de pagamento da fatura de energia elétrica ou por deficiência técnica e/ou de segurança das instalações de um consumidor que não provoque interrupção em outras instalações.
- Interrupção vinculada a programas de racionamento instituídos pela União;
- Interrupção em situação de emergência oriunda de evento que impossibilite a atuação imediata da distribuidora;
- Ocorrida em Dia Crítico: dia em que a quantidade de ocorrências emergenciais em um determinado conjunto de unidades consumidoras, superar a média acrescida de três desvios padrões dos valores diários;
- Oriunda de atuação de Esquema de Alívio de Carga estabelecido pelo ONS.

## B. Indicadores Individuais

De maneira equivalente ao descrito sobre os indicadores coletivos de continuidade, a ANEEL exige também um acompanhamento mais detalhado dos indicadores individuais [2]. Nesse sentido, faz-se uso de quatro indicadores individuais que apuram a qualidade por unidade consumidora, sendo eles:

- DIC – Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora;
- FIC – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora;
- DMIC – Duração Máxima de Interrupção Individual por Unidade Consumidora;
- DICRI – Duração de Interrupção Individual em Dia Crítico por Unidade Consu-

midora.

## C. Compensações Financeiras

Como forma de estimular a melhoria contínua de serviços, a regulação de qualidade prevê um sistema de penalidade financeira às distribuidoras que apresentarem desempenho dos indicadores insatisfatórios. A não conformidade aos indicadores regulados gera a aplicação de multas, sendo que a sua utilização é autorizada para a compensação financeira ao consumidor pelo não cumprimento de metas de qualidade do serviço [5].

Essa metodologia imposta e regulamentada pela ANEEL de aplicações de multas de compensação financeira visa garantir a redução dos indicadores e aumentar a competitividade entre as distribuidoras de forma a garantir um serviço de qualidade no fornecimento de energia elétrica aos consumidores [2].

## 5 | AVALIAÇÃO DA AÇÃO DE DESBASTE AO LONGO DE UM ALIMENTADOR

O lócus da pesquisa se restringe à área de atuação de um alimentador em uma rede de distribuição que atende consumidores de uma cidade brasileira. O nome da cidade não será divulgado para manter em sigilo os dados técnicos da concessionária de energia elétrica.

Para realizar a análise do número de ocorrências, a amostra coletada corresponde aos dados pertencentes a um trecho do alimentador. A escolha deste alimentador deve-se à alta quantidade de ocorrências finalizadas cuja causa relatada foi árvore na rede durante o período de janeiro de 2020 a outubro de 2022. Além disso, possui um alto número de consumidores atendidos no período.

Essas condições são importantes, pois, devido a quantidade de informações, permite analisar com maior precisão a contribuição das árvores na quantidade de ocorrência dos alimentadores da subestação estudada. Sabendo que essas ocorrências podem estar diretamente ligadas à incidência dos ventos e do volume de chuva, pode-se, através da análise correta dos dados, verificar se as soluções sugeridas para mitigação dos desligamentos são adequadas.

A primeira etapa da análise visa identificar as principais causas de interrupções para as ocorrências registradas no trecho em estudo. Nesse sentido, constatou-se a presença predominante de dez elementos provocadores de interrupções. A Tabela 1 apresenta o número total de ocorrências para as dez maiores causas de interrupções do fornecimento de energia elétrica, somando-se os anos de 2020 e 2021.

<b>Causa da Ocorrência</b>	<b>Total</b>	<b>Percentual [%]</b>
Deterioração de Material	116	20,32
Árvore na rede	111	19,44
Falha em conexão	84	14,71
Descarga atmosférica	65	11,38
Corrosão / Oxidação / Fundido	31	5,43
Interferência de terceiros	30	5,25
Animais	24	4,20
Desligamento programado	21	3,68
Falha em equipamento	14	2,45
Outros	75	13,13

Tabela 1: Principais causas de desligamento nos anos de 2020 e 2021.

Fonte: O próprio autor.

Nesse cenário, é importante analisar os fatores que induzem o contato da árvore com a rede de distribuição. Com fácil percepção, é possível compreender que a velocidade do vento é um dos agentes predominantes que levam a este incidente. Sabe-se que a incidência dos ventos contribui com as saídas dos alimentadores, pois o fenômeno provoca a movimentação das copas das árvores, esta que faz com que a árvore entre em contato com a rede de distribuição de energia, acarretando na falta de energia.

Ao analisar os dados apresentados, percebe-se o registro de 571 ocorrências, sendo que 111 foram ocasionadas pelo contato de árvores na rede, o que representa cerca de 20 % dos casos registrados. Um dos fatores que levam a este número elevado é a passagem da rede em trechos com alto índice de arborização ou mesmo em locais de mata fechada, conforme apresentado na Figura 1.

A Tabela 2 e o Gráfico 1, retratam a relação entre o número de ocorrências em que a causa determinante foi o contato das árvores na rede e a velocidade média do vento. Nos meses entre abril e outubro houve uma concentração do número de ocorrências de desligamento e, também nesses meses, são registradas as maiores médias da velocidade do vento na região.

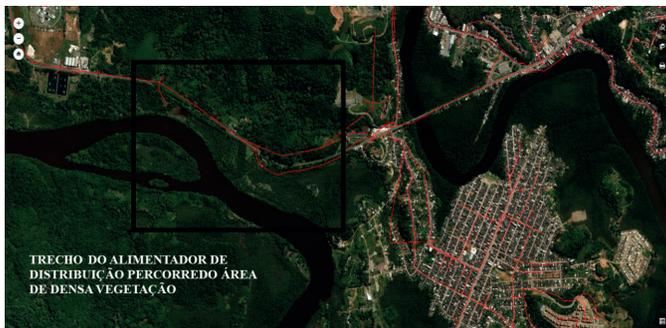


Figura 1: Imagem de satélite da área de atuação do alimentador.

Fonte: Acervo Próprio.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Desligamentos [Vezez]</b>	4	9	10	13	12	6	13	12	10	12	7	3
<b>Velocidade Média [m/s]</b>	3,06	2,99	3,13	3,46	4	3,89	4	3,78	3,78	3,74	3,71	3,17

Tabela 2: Número de ocorrências x velocidade média do vento por mês em 2020 e 2021.

Fonte: Concessionária; Global Wind Atlas, 2022.

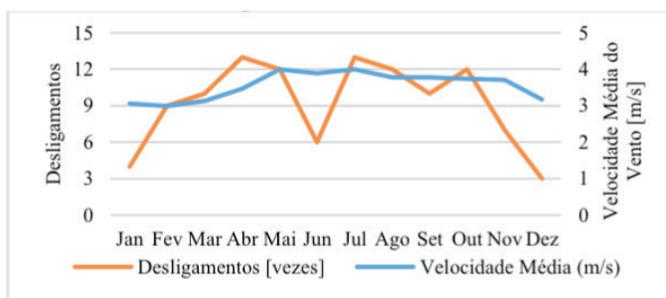


Gráfico 1: Comparativo do número ocorrências x velocidade média do vento por mês em 2020 e 2021.

Fonte: Concessionária; Global Wind Atlas, 2022.

Entre os meses de novembro e março, houve os menores índices de ocorrências, sendo também compreendidos pelos meses com menor velocidade média do vento. Destarte, é possível perceber uma tendência entre a quantidade média de ocorrências por contato de árvores e a velocidade do vento; no entanto, nota-se que no mês de junho houve um baixo número de registros quando comparado com a velocidade média registrada, sendo, portanto, reconhecido como um ponto fora da curva.

Diante dos dados supracitados, deve-se realizar uma análise de gerenciamento de risco associado à vegetação nas proximidades das redes de distribuição, como forma de garantir a segurança pública, minimizar os riscos de incêndio (ocasionados pelo contato da vegetação com a rede), e minimizar a quantidade de interrupções ou perturbações no sistema.

Para atingir esses objetivos, a ação do desbaste baseia-se em práticas de gestão que minimizam a necessidade recorrente de limpeza e poda da vegetação utilizando uma combinação de métodos e parâmetros, com base na melhor solução para o local. Dessa forma, deverá sempre formar uma equipe com pessoas experientes e com qualificação que possam escolher entre os muitos fatores que influenciam a melhor opção de manejo.

Nesse cenário, em um primeiro momento, deve-se realizar uma inspeção em campo para avaliar os pontos críticos e adotar as medidas necessárias de contenção, assegurando que as árvores e demais vegetações que venham interferir na rede de distribuição passem por alguma medida que venha a evitar o contato com a linha aérea, seja com a realização da poda, rebaixamento ou retirada da vegetação. A Figura 2, apresentam uma avaliação em campo dos ativos e análise dos possíveis risco ao sistema.

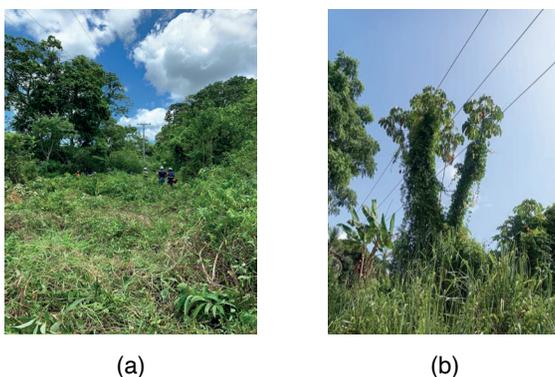


Figura 2: Verificação em campo de pontos críticos de contato entre vegetação e rede elétrica.

Fonte: Acervo Próprio.

Após verificação em campo, avaliou-se junto a concessionária a necessidade de realização do desbaste, a fim de reduzir riscos e melhorar a segurança do sistema de distribuição, melhorando os indicadores de continuidade do alimentador em estudo.

Nesse sentido, no início do ano de 2022, no mês de janeiro, fez-se a operação de poda dos trechos da rede afetados pela vegetação. A Tabela 3 apresenta o número total de ocorrências para as dez maiores causas de interrupções do fornecimento de energia elétrica, no ano de 2022 e o Gráfico 3, retrata o percentual de cada elemento após a intervenção na vegetação.

Causa da Ocorrência	Total	Percentual [%]
Deterioração de Material	43	20,87
Falha em conexão	40	19,42
Árvore na rede	28	13,59
Descarga atmosférica	22	10,68
Corrosão / Oxidação / Fundido	18	8,74
Interferência de terceiros	10	4,85
Animais	8	3,88
Desligamento programado	8	3,88
Falha em equipamento	7	3,40
Outros	22	10,68

Tabela 3: Principais causas de desligamento no ano de 2022, entre janeiro e outubro.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 4 e o Gráfico 2 apresenta a contagem de desligamentos ocasionados por árvores no ano de 2022 e a linha média dos anos de 2020 e 2021. A partir dele, verifica-se uma grande redução no número de ocorrências, além de ser possível identificar a mesma tendência analisada anteriormente, quando comparada a quantidade de desligamentos e a velocidade média do vento.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Média Anterior</b>	2	4,5	5	6,5	6	3	6,5	6	5	6	3,5	1,5
<b>Ano de 2022</b>	0	2	3	3	5	4	5	1	2	3	0	0

Tabela 4: Número de ocorrências no ano de 2022 com a média dos anos 2020 e 2021.

Fonte: Concessionária; Global Wind Atlas, 2022.

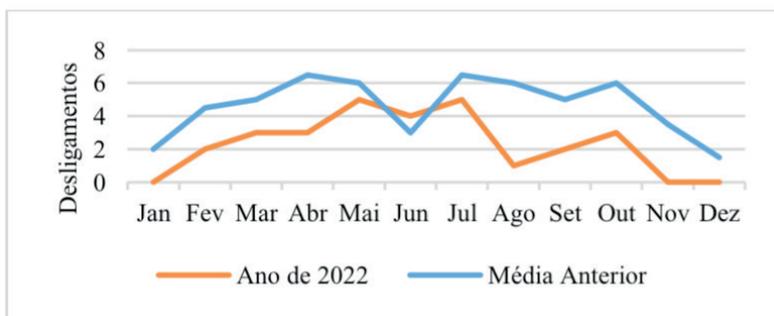


Gráfico 2: Comparação entre o ano de 2022 com a média dos anos 2020 e 2021.

Fonte: O próprio autor.

Conforme discutido anteriormente, além de promover a segurança da rede, um dos objetivos da concessionária é promover uma maior qualidade do serviço, garantindo

uma maior confiabilidade do sistema. Em termo dos indicadores de qualidade, Gráfico 3 e Gráfico 4, mostram a evolução dos indicadores DEC e FEC, respectivamente, nos anos de 2017 a 2021 da concessionária em estudo. Esses resultados foram obtidos a partir de consulta ao site da ANEEL, a qual disponibiliza gratuitamente os resultados obtidos por todas as distribuidoras do país.

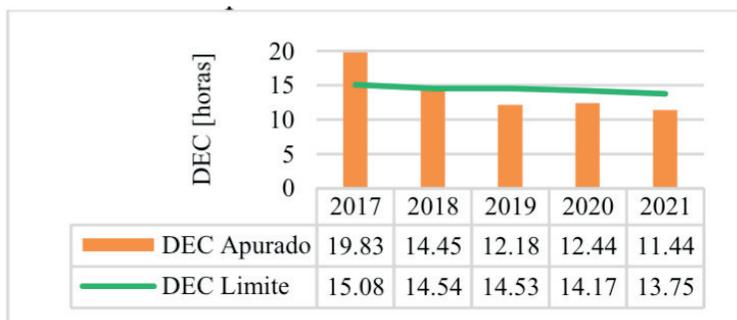


Gráfico 3: DEC apurado entre os anos de 2017 e 2021.

Fonte: O próprio autor.



Gráfico 4: FEC apurado entre os anos de 2017 e 2021.

Fonte: O próprio autor.

Nesses gráficos é possível concluir que tanto o DEC como o FEC apresentam uma trajetória de redução de 2017 para 2021, reduzindo 42,3% e 37,1%, respectivamente. Desta forma, fica evidente que, uma das formas mais efetivas de controlar e reduzir interrupções não programadas, é evitando o contato de árvores com a rede de distribuição.

Ao analisar os resultados obtidos é possível realizar algumas constatações. Para o ano de 2021, a influência das ocorrências de desligamento por contato da vegetação representou cerca de 92,6% do DEC total. Após a ação do desbaste, a contribuição para os desligamentos foi reduzida para 35,3%. Ainda é possível verificar que a realização da poda promoveu uma redução de 83,4% do DEC relacionado ao contato de árvore na rede, demonstrando a importância e a eficiência desta ação, para melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica para os consumidores.

## 6 | CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, estudou-se o comportamento sazonal das interrupções da rede de distribuição por arborização, possibilitando verificar a relação entre o número de eventos por árvores na rede com os fatores meteorológicos da região.

Os resultados apresentados mostram que, de fato, a vegetação é uma das principais responsáveis pelo elevado número de ocorrências no alimentador estudado. Além disso, verifica-se que o número de ocorrências aumenta durante períodos em que a velocidade do vento atinge suas maiores médias. Dessa forma, a execução de manutenções preventivas é muito importante, evitando manutenções corretivas, pois constatou-se que no ano de realização da poda, os registros por árvore foram reduzidos aproximadamente à metade.

Diante do exposto, pode-se concluir que é necessário ajustar o cronograma de poda do plano de manutenção para uma época anterior ao período de ventos fortes para evitar que as árvores se tornem uma ameaça à rede. Esse processo garante que a energia chegue às unidades consumidoras com maior confiabilidade e evita transtornos às concessionárias de energia, resultando em menos acidentes. Além disso, cabe ressaltar que a poda deve ser bem realizada, respeitando as características morfológicas de cada árvore, para que a vegetação possa se recuperar.

## REFERÊNCIAS

[1] ABRADÉE. Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADÉE), 2019. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia/>. Acesso em: 12/06/2022

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8. Revisão 12. jan. 2021.

[3] ALBANI, Katia; COSTA, Lorene. Rede De Distribuição Aérea: Comparativo Técnico E Econômico Entre A Rede Convencional E A Compacta Na Região De Abrangência De Uma Concessionária De Energia. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELT), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba-PR, 2017. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10040/1/CT\\_COELE\\_2017\\_2\\_11.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10040/1/CT_COELE_2017_2_11.pdf). Acesso em: 16 out. 2022

[4] APOLINÁRIO, L. A. V.; MANTOVANI, J. R. S. Modelo de programação matemática para controle do crescimento da vegetação sob redes de distribuição de energia elétrica. Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica. Sociedade Brasileira de Automática, v. 22, n. 3, p. 284-295, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/9879>.

[5] BARROS, André Felipe. Análise Das Principais Causas De Descontinuidade No Fornecimento De Energia Elétrica E De Seus Impactos Nos Indicadores De Qualidade. 2020. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10032029.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

- [6] CASTRO, Nivalde et al. Análise das Propostas de Alteração Metodológica, para Determinação das Metas Regulatórias das Perdas Não Técnicas, na Distribuição de Energia Elétrica - NT46/2020. Grupo de Estudos do Setor Elétrico, Rio de Janeiro, p. PUC - Rio, 1 out. 2020. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8945/8945\\_2.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8945/8945_2.PDF). Acesso em: 12 nov. 2022.
- [7] CELESC. Manual de Procedimentos: Sistema de Desenvolvimento de Sistemas de Distribuição. [s/l]. 2020. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/l3130021.pdf>. Acesso em: 16 out. 2022.
- [8] DUMA, Mariana. Avaliação da Manutenção de Redes de Distribuição Compactas de kV com Técnicas de Linha Viva. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Setor de Ciências Exatas, UFPR - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2017. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/481.pdf>. Acesso em: 16 out. 2022.
- [9] KAGAN, Nelson. Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2005. 328 p.
- [10] KOGA, F. H. P., “Gestão da qualidade aplicada no processo de poda de árvores em uma distribuidora de energia”, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MARANHÃO, 2018.
- [11] LIMA, H. G. F.; COSTA, R. M.; SOARES, A. S.; LAUREANO, G. T. Reconhecimento de árvores usando visão computacional para prevenir interrupções no sistema de distribuição de energia elétrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SBSI), 11. 2015, Goiânia. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2015.
- [12] MALTA, Sérgio. A importância da qualidade da energia para a indústria e os investimentos em rede. Brasil Energia. GESEL – UFRJ. 07 de fevereiro de 2018.
- [13] MELH, E. L. M., “Qualidade de energia elétrica” Universidade Federal do Paraná, 2004. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>. Acesso em: 12/06/2022
- [14] NEOENERGIA. O Setor Elétrico. In: NEOENERGIA. O Setor Elétrico. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/sobre-nos/o-setor-eletrico/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 23 abr. 2022.
- [15] SILVA, Mauren. Proposta de Modelagem e Simulação para Análise de Distorção Harmônica. Orientador: Prof. Drº Roberto Chouby Leborgne. 2012. 145 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) - UFRGS, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/103732>. Acesso em: 11 out. 2022.
- [16] SOUZA, E. Índices de confiabilidade devido a vegetação e planejamento de podas de árvores em redes de distribuição. 2013. 225. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/110525>

# AVANCES SOSTENIBLES EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL: EFICIENCIA, CALIDAD Y TECNOLOGÍA INNOVADORA

*Data de submissão: 27/01/2025*

*Data de aceite: 05/02/2025*

**Ronald Astete Tebes**

Universidad Nacional del Altiplano Puno

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería agroindustrial representa una rama crucial en el ámbito de la producción de alimentos y productos agrícolas, fusionando conocimientos de ingeniería, tecnología y ciencias agrícolas para optimizar los procesos de producción. En un mundo cada vez más poblado y con demandas alimenticias crecientes, la eficiencia en la producción agroindustrial se vuelve fundamental para asegurar la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible. Los procesos de producción en la ingeniería agroindustrial abarcan una amplia gama de actividades, desde la siembra y cultivo de materias primas hasta el procesamiento, almacenamiento y distribución de productos finales. Estos procesos están influenciados por una serie de factores interrelacionados, que incluyen condiciones climáticas, recursos naturales

disponibles, avances tecnológicos y requisitos del mercado.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se propone explorar en profundidad los procesos de producción aplicados en la ingeniería agroindustrial, analizando su importancia, desafíos y oportunidades. Se abordarán aspectos clave como la selección y manejo de cultivos, técnicas de cosecha y postcosecha, así como innovaciones tecnológicas y estrategias de gestión de la cadena de suministro. Uno de los principales objetivos de este estudio es comprender cómo los avances en ingeniería y tecnología pueden contribuir a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos de producción agroindustrial. Además, se examinará el papel crucial de la ingeniería agroindustrial en la creación de valor agregado a través de la transformación de materias primas en productos finales de mayor calidad y valor comercial.

La investigación también se centrará en identificar y analizar los principales desafíos que enfrenta la

ingeniería agroindustrial en la actualidad, como la optimización de recursos, la mitigación de impactos ambientales y la adaptación a cambios en las condiciones del mercado global. Se explorarán estrategias y prácticas innovadoras para superar estos desafíos y promover un desarrollo agroindustrial más sostenible y equitativo. Además, se examinará el papel de la ingeniería agroindustrial en la promoción del desarrollo rural y la inclusión socioeconómica, destacando su contribución a la generación de empleo, el fortalecimiento de cadenas de valor locales y la mejora de la calidad de vida en comunidades rurales.

La ingeniería agroindustrial se fundamenta en un enfoque multidisciplinario que integra conocimientos de ingeniería, ciencias agrícolas, biotecnología y gestión empresarial para optimizar los procesos de producción agroalimentaria. En este sentido, uno de los principales pilares de la ingeniería agroindustrial es la aplicación de principios de ingeniería en la producción, transformación y distribución de productos agrícolas y alimentarios, con el objetivo de mejorar la eficiencia, calidad y sostenibilidad de los sistemas agroindustriales. Los procesos de producción en la ingeniería agroindustrial comprenden una serie de etapas interconectadas, que van desde la selección y preparación del terreno para el cultivo hasta la comercialización y distribución de los productos finales. Cada una de estas etapas requiere de tecnologías y prácticas específicas para maximizar el rendimiento y minimizar los costos y impactos ambientales. En el ámbito agrícola, los procesos de producción incluyen actividades como la preparación del suelo, la siembra, el riego, el control de plagas y enfermedades, y la cosecha. Estas actividades están influenciadas por factores como el clima, la disponibilidad de agua y nutrientes, y la elección de cultivos adecuados para cada tipo de suelo y región geográfica.

Una vez que se han obtenido las materias primas agrícolas, comienza la fase de procesamiento agroindustrial, que implica una serie de operaciones como la limpieza, clasificación, trituración, extracción, fermentación, pasteurización y envasado de productos agrícolas para su transformación en alimentos y productos derivados. Estas operaciones se realizan mediante el uso de maquinaria especializada y tecnologías de última generación, con el fin de garantizar la calidad, seguridad y trazabilidad de los productos finales. La gestión de la cadena de suministro es otro aspecto fundamental de los procesos de producción en la ingeniería agroindustrial, ya que involucra la planificación, coordinación y control de todas las actividades relacionadas con la producción, distribución y comercialización de productos agrícolas y alimentarios. Una gestión eficiente de la cadena de suministro permite optimizar los flujos de materiales y recursos, reducir los costos operativos y mejorar la satisfacción del cliente.

## **METODOLOGÍA**

La metodología empleada en este trabajo de investigación combina una exhaustiva revisión bibliográfica con una detallada descripción de los procesos de producción en la

ingeniería agroindustrial. Este enfoque nos permitirá obtener una comprensión integral de los temas abordados, así como identificar tendencias, desafíos y oportunidades en este campo. La revisión bibliográfica se llevará a cabo mediante la búsqueda y análisis crítico de una amplia variedad de fuentes académicas y científicas, incluyendo libros, artículos de revistas especializadas, informes técnicos y documentos gubernamentales. Se utilizarán bases de datos electrónicas como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar para identificar estudios relevantes publicados en los últimos años. La selección de las fuentes bibliográficas se realizará siguiendo criterios de relevancia, actualidad y rigor científico, priorizando aquellos trabajos que aporten información significativa sobre los procesos de producción en la ingeniería agroindustrial. Se prestará especial atención a investigaciones empíricas, revisiones sistemáticas y metaanálisis que proporcionen evidencia científica sólida y actualizada sobre el tema.

Además de la revisión bibliográfica, se llevará a cabo una descripción detallada de los procesos de producción en la ingeniería agroindustrial, abordando cada etapa de manera exhaustiva y proporcionando ejemplos prácticos y casos de estudio relevantes. Se describirán las tecnologías, técnicas y prácticas utilizadas en la siembra, cultivo, cosecha, procesamiento y comercialización de productos agrícolas y alimentarios. La descripción de los procesos de producción se basará en información obtenida tanto de la literatura científica como de fuentes prácticas, como manuales técnicos, informes de empresas y entrevistas con expertos del sector. Se incluirán datos cuantitativos y cualitativos para ilustrar la magnitud y complejidad de los procesos agroindustriales, así como sus implicaciones en términos de rendimiento, calidad y sostenibilidad. Para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos, se llevará a cabo una cuidadosa triangulación de fuentes y métodos, contrastando la información recopilada de diferentes fuentes y utilizando técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo para interpretar los datos. Se prestará atención a posibles sesgos y limitaciones en la literatura revisada, así como a áreas de investigación poco exploradas que puedan requerir mayor atención en futuros estudios.

<b>Variable</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Métodos de revisión de bibliografía y descripción</b>
Eficiencia	La capacidad de los procesos agroindustriales para producir un máximo de productos con un mínimo de recursos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de estudios previos que analicen la eficiencia en los procesos agroindustriales, identificando factores como rendimiento por hectárea, consumo de recursos y costos asociados.</li> <li>- Descripción detallada de técnicas y tecnologías utilizadas en la literatura para mejorar la eficiencia en la producción agroindustrial.</li> </ul>
Calidad del producto	Las características intrínsecas y extrínsecas que determinan el valor y la aceptabilidad de los productos agroindustriales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de investigaciones y revisiones que aborden la calidad de los productos agroindustriales, considerando aspectos como composición química, aspecto visual, sabor y textura.</li> <li>- Descripción de estándares de calidad y normativas en la literatura que regulan la producción de alimentos agroindustriales.</li> </ul>
Sostenibilidad	La capacidad de los sistemas agroindustriales para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las de las futuras generaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de estudios que aborden prácticas agrícolas y agroindustriales sostenibles, considerando aspectos como conservación de suelos, uso eficiente del agua, y manejo de residuos.</li> <li>- Descripción de modelos de desarrollo sostenible en la literatura aplicados a la ingeniería agroindustrial.</li> </ul>
Innovación tecnológica	La incorporación de avances tecnológicos para mejorar los procesos de producción agroindustrial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de investigaciones que presenten tecnologías innovadoras aplicadas en la ingeniería agroindustrial, como sistemas de automatización, drones agrícolas, y biotecnología.</li> <li>- Descripción de casos de estudio y ejemplos prácticos de aplicación de tecnologías innovadoras en la producción agroindustrial encontrados en la literatura.</li> </ul>

Tabla 1. Operacionalización de Variables

## RESULTADOS

<b>Estudio</b>	<b>Hallazgos</b>
(Serrano et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimiento promedio por hectárea para diversos cultivos.</li> <li>- Análisis de los factores que afectan la eficiencia en la producción agroindustrial.</li> </ul>
(M. S. Reinoso et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparación de diferentes técnicas de riego y su impacto en el uso eficiente del agua.</li> <li>- Costos asociados a la implementación de prácticas de agricultura de precisión.</li> </ul>
(Suárez-Monsalve, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación del consumo de energía en sistemas de procesamiento de alimentos.</li> <li>- Estrategias para reducir los costos energéticos en la producción agroindustrial.</li> </ul>
(Dania et al., 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro en empresas agroalimentarias.</li> <li>- Factores clave que influyen en la eficiencia logística en la agroindustria.</li> </ul>

Tabla 2. Eficiencia en los Procesos Agroindustriales

En el estudio realizado por Serrano et al. (2020), se examinó el rendimiento promedio por hectárea para una variedad de cultivos en el contexto de la producción agroindustrial.

Además, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los factores que influyen en la eficiencia de estos procesos. Esta investigación proporciona una visión detallada de cómo diversos elementos, como las condiciones climáticas, el manejo del suelo y la selección de cultivos, afectan la productividad en la ingeniería agroindustrial. M. S. Reinoso et al. (2020) realizaron una comparación entre diferentes técnicas de riego y evaluaron su impacto en el uso eficiente del agua en la agricultura. Además de analizar la eficacia de estas técnicas, se calcularon los costos asociados a la implementación de prácticas de agricultura de precisión, brindando información relevante para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos en la producción agroindustrial. El estudio de Suárez-Monsalve (2024) se centró en evaluar el consumo de energía en los sistemas de procesamiento de alimentos dentro del ámbito agroindustrial. Además de identificar los niveles de consumo energético, se propusieron estrategias específicas para reducir los costos asociados a la energía en estos procesos, destacando la importancia de la eficiencia energética en la ingeniería agroindustrial. Dania et al. (2023) llevaron a cabo un análisis exhaustivo de la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro en empresas agroalimentarias. Se examinaron los factores clave que influyen en la eficiencia logística en la agroindustria, desde la producción hasta la distribución de productos agrícolas y alimentarios. Este estudio proporciona una comprensión profunda de cómo optimizar la cadena de suministro para mejorar la eficiencia en la producción agroindustrial.

Estudio	Hallazgos
(Meili et al., 2019; Melnichuk et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parámetros físico-químicos de productos agroindustriales (pH, humedad, contenido de sólidos, etc.).</li> <li>- Impacto de diferentes técnicas de procesamiento en la calidad nutricional de los alimentos.</li> </ul>
(Letyagina et al., 2021; Melnichuk et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumplimiento de estándares de calidad y normativas sanitarias en la producción de alimentos procesados.</li> <li>- Estrategias para mejorar la seguridad alimentaria en la cadena de producción agroindustrial.</li> </ul>
(Mora-Villalobos et al., 2021; Rodrigues et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación sensorial de productos agroindustriales (sabor, textura, aroma, etc.).</li> <li>- Preferencias del consumidor y su influencia en la calidad percibida de los alimentos.</li> </ul>
(Cremones et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto del procesamiento en la conservación de vitaminas y antioxidantes en frutas y hortalizas.</li> <li>- Métodos de envasado y almacenamiento para preservar la calidad de los productos agrícolas.</li> </ul>

Tabla 3. Calidad de los Productos Agroindustriales

El estudio llevado a cabo por Meili et al. (2019) y Melnichuk et al. (2020) se centró en la evaluación de los parámetros físico-químicos de productos agroindustriales, tales como el pH, la humedad y el contenido de sólidos. Además, se analizó el impacto de diferentes técnicas de procesamiento en la calidad nutricional de los alimentos, proporcionando información relevante sobre cómo estas prácticas afectan las propiedades nutricionales de

los productos. Letyagina et al. (2021) y Melnichuk et al. (2020) investigaron el cumplimiento de estándares de calidad y normativas sanitarias en la producción de alimentos procesados en la industria agroindustrial. Además, se propusieron estrategias específicas para mejorar la seguridad alimentaria en la cadena de producción, destacando la importancia de cumplir con regulaciones sanitarias para garantizar la calidad y seguridad de los productos. El estudio realizado por Mora-Villalobos et al. (2021) y Rodrigues et al. (2022) se enfocó en la evaluación sensorial de productos agroindustriales, considerando aspectos como el sabor, la textura y el aroma. Además, se examinaron las preferencias del consumidor y su influencia en la calidad percibida de los alimentos, proporcionando información valiosa sobre cómo los aspectos sensoriales afectan la aceptación del producto en el mercado. Cremones et al. (2021) investigaron el impacto del procesamiento en la conservación de vitaminas y antioxidantes en frutas y hortalizas en la industria agroindustrial. Además, se analizaron métodos de envasado y almacenamiento para preservar la calidad de los productos agrícolas, destacando la importancia de la conservación de nutrientes durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos.

Estudio	Hallazgos
(Serrano et al., 2020; Suárez-Monsalve, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prácticas agrícolas sostenibles para la conservación de suelos y agua.</li> <li>- Impacto ambiental de la agricultura convencional vs. la agricultura ecológica.</li> </ul>
(Rodrigues et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de la huella de carbono en la producción de alimentos agroindustriales.</li> <li>- Estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la cadena de suministro alimentario.</li> </ul>
(López et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación del impacto socioeconómico de proyectos de desarrollo rural basados en la agroindustria.</li> <li>- Participación de las comunidades locales en iniciativas de agricultura sostenible.</li> </ul>
(Bacha & Bacha, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adopción de prácticas de producción limpia y ecoeficientes en la industria agroalimentaria.</li> <li>- Beneficios económicos y ambientales de la implementación de tecnologías sostenibles en la ingeniería agroindustrial.</li> </ul>

Tabla 4. Sostenibilidad en la Ingeniería Agroindustrial

El estudio realizado por Serrano et al. (2020) y Suárez-Monsalve (2024) se enfocó en prácticas agrícolas sostenibles para la conservación de suelos y agua. Además, se analizó el impacto ambiental de la agricultura convencional en comparación con la agricultura ecológica, proporcionando información relevante sobre cómo estas prácticas influyen en la sostenibilidad de los sistemas agroindustriales. Rodrigues et al. (2022) llevaron a cabo un análisis de la huella de carbono en la producción de alimentos agroindustriales, identificando estrategias específicas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la cadena de suministro alimentario. Esta investigación destaca la importancia de abordar las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria agroalimentaria para mitigar el cambio climático. El estudio de López et al. (2022) evaluó el impacto socioeconómico

de proyectos de desarrollo rural basados en la agroindustria. Además, se analizó la participación de las comunidades locales en iniciativas de agricultura sostenible, resaltando la importancia de involucrar a las comunidades en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles para el desarrollo rural. Bacha & Bacha (2001) investigaron la adopción de prácticas de producción limpia y ecoeficientes en la industria agroalimentaria. Además, se examinaron los beneficios económicos y ambientales de la implementación de tecnologías sostenibles en la ingeniería agroindustrial, proporcionando evidencia sobre cómo estas prácticas pueden contribuir a la sostenibilidad en el sector agroalimentario.

Estudio	Hallazgos
(González & Atencio-Valdespino, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de tecnologías de automatización y robótica en la recolección de cultivos.</li> <li>- Beneficios y limitaciones de la agricultura de precisión en la ingeniería agroindustrial.</li> </ul>
(S. Reinoso et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación de drones y vehículos autónomos en la monitorización de cultivos y detección de enfermedades.</li> <li>- Impacto de la inteligencia artificial en la optimización de procesos agroindustriales.</li> </ul>
(Philippini et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo de biotecnologías para la mejora genética de cultivos y la producción de alimentos funcionales.</li> <li>- Perspectivas futuras de la biotecnología en la ingeniería agroindustrial.</li> </ul>
(Nóbrega et al., 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integración de tecnologías de información y comunicación (TIC) en la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria.</li> <li>- Herramientas y plataformas digitales para la trazabilidad y la gestión de datos en la industria agroindustrial.</li> </ul>

Tabla 5. Innovación Tecnológica en la Producción Agroindustrial

En el estudio realizado por González & Atencio-Valdespino (2023), se exploró el uso de tecnologías de automatización y robótica en la recolección de cultivos, así como las ventajas y limitaciones de la agricultura de precisión en la ingeniería agroindustrial. Este trabajo proporciona una visión integral de cómo la automatización está transformando los procesos de producción agrícola y cómo la precisión puede mejorar la eficiencia y la productividad en la agricultura. S. Reinoso et al. (2020) investigaron la aplicación de drones y vehículos autónomos en la monitorización de cultivos y la detección de enfermedades. Además, se analizó el impacto de la inteligencia artificial en la optimización de procesos agroindustriales, destacando el potencial de estas tecnologías para mejorar la toma de decisiones y la gestión de recursos en la industria agroalimentaria. Philippini et al. (2020) se centraron en el desarrollo de biotecnologías para la mejora genética de cultivos y la producción de alimentos funcionales. Además, se exploraron las perspectivas futuras de la biotecnología en la ingeniería agroindustrial, resaltando el papel clave que juegan estas tecnologías en la búsqueda de soluciones innovadoras para los desafíos agrícolas y alimentarios. Nóbrega et al. (2023) investigaron la integración de tecnologías de información y comunicación (TIC) en la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria. Se examinaron las herramientas y plataformas digitales para la trazabilidad y la gestión

de datos en la industria agroindustrial, proporcionando una visión detallada de cómo la digitalización está transformando la forma en que se produce, distribuye y comercializa los productos agrícolas y alimentarios.

## CONCLUSIONES

Los estudios revisados resaltan la importancia de mejorar la eficiencia en los procesos agroindustriales para maximizar la producción con un uso óptimo de recursos. Estrategias como la implementación de tecnologías de precisión, la gestión eficiente de la cadena de suministro y la adopción de prácticas sostenibles pueden contribuir significativamente a este objetivo.

La calidad de los productos agroindustriales es un aspecto crucial para garantizar la satisfacción del consumidor y la competitividad en el mercado. Los estudios revisados destacan la importancia de mantener altos estándares de calidad en todas las etapas de producción, desde el cultivo y procesamiento hasta el envasado y distribución.

La sostenibilidad emerge como un principio rector en la ingeniería agroindustrial, con un enfoque creciente en la adopción de prácticas y tecnologías respetuosas con el medio ambiente. La literatura revisada subraya la necesidad de promover sistemas agrícolas y agroindustriales sostenibles que preserven los recursos naturales, reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y fomenten el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales.

La innovación tecnológica juega un papel fundamental en la evolución de la ingeniería agroindustrial, facilitando la mejora continua de los procesos de producción y la creación de nuevos productos y servicios. La revisión bibliográfica revela una amplia gama de tecnologías emergentes, como la agricultura de precisión, la biotecnología y la digitalización de la cadena de suministro, que están transformando el sector agroalimentario.

## REFERENCIAS

Bacha, C. J. C., & Bacha, C. J. C. (2001). O sistema agroindustrial da Madeira no Brasil. *Revista Economica Do Nordeste*. <https://doi.org/10.61673/ren.2001.1801>

Cremones, P. A., Cremones, P. A., Cremones, P. A., Cremones, P. A., Teleken, J. G., Teleken, J. G., Meier, T. R. W., Meier, T. R. W., Alves, H. J., & Alves, H. J. (2021). Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111854>

Dania, W. A. P., Tafarel, A., Septifani, R., Amer, Y., & Doan, L. P. (2023). Supplier performance evaluation factors for agroindustrial supply chain: A systematic review. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*. <https://doi.org/10.21776/ub.afssaae.2023.006.01.1>

González, R. C., & Atencio-Valdespino, R. (2023). Procesos agroindustriales y ambiente: ¿pueden ser compatibles? *Revista Investigación Agraria*. <https://doi.org/10.47840/reina.5.2.1809>

- Letyagina, E., Letyagina, E. A., Storozheva, A., Storozheva, A. N., Dadayan, E., & Dadayan, E. V. (2021). Innovative processes and modernization in the agroindustrial complex of the Russian Federation: results and prospects. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701062>
- López, J. E. A., Flores-Gallegos, A. C., Ascacio-Valdés, J. A., Esquivel, J. C. C., Torres-León, C., Rúelas-Chácon, X., & Aguilar, C. N. (2022). Antioxidant Dietary Fiber Sourced from Agroindustrial Byproducts and Its Applications. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods12010159>
- Meili, L., Meili, L., Lins, P. V. S., Lins, P. V. dos S., Costa, M. T. C. M., Costa, M. T., Almeida, R. L. De, Almeida, R. L., Abud, A. K. de S., Abud, A. K. de S., Soletti, J. I., Soletti, J. I., Dotto, G. L., Dotto, G. L., Tanabe, E. H., Tanabe, E. H., Sellaoui, L., Sellaoui, L., Carvalho, S. H. V. de, ... Erto, A. (2019). Adsorption of methylene blue on agroindustrial wastes: Experimental investigation and phenomenological modelling. *Progress in Biophysics & Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2018.07.011>
- Melnichuk, N., Melnichuk, N., Braia, M., Braia, M., Anselmi, P., Anselmi, P. A., Meini, M. R., Meini, M.-R., Romanini, D., Romanini, D., & Romanini, D. (2020). Valorization of two agroindustrial wastes to produce alpha-amylase enzyme from *Aspergillus oryzae* by solid-state fermentation. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.025>
- Mora-Villalobos, J.-A., Mora-Villalobos, J.-A., Aguilar, F. X., Aguilar, F., Carballo-Arce, A.-F., Carballo-Arce, A.-F., Vega-Baudrit, J. R., Vega-Baudrit, J.-R., Trimino-Vazquez, H., Trimino-Vazquez, H., Villegas-Peñaranda, L. R., Villegas-Peñaranda, L. R., Stöbener, A., Stöbener, A., Eixenberger, D., Eixenberger, D., Bubenheim, P., Bubenheim, P., Sandoval-Barrantes, M., ... Liese, A. (2021). Tropical agroindustrial biowaste revalorization through integrative biorefineries—review part I: coffee and palm oil by-products. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01442-9>
- Nóbrega, C. R. do E. S., Silva, J. B. S. da, Monteiro, T. O., Crnkovic, P. M., & Cruz, G. (2023). An investigation on the kinetic behavior and thermodynamic parameters of the oxy-fuel combustion of Brazilian agroindustrial residues. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03993-y>
- Philippini, R. R., Philippini, R. R., Martiniano, S. E., Martiniano, S. E., Ingle, A. P., Ingle, A. P., Marcelino, P. R. F., Marcelino, P. R. F., Silva, G. M., Silva, G. M., Barbosa, F. G., Barbosa, F. G., Santos, J. C. dos, Santos, J. C. dos, Silva, S. S. da, & Silva, S. S. da. (2020). Agroindustrial Byproducts for the Generation of Biobased Products: Alternatives for Sustainable Biorefineries. *Frontiers in Energy Research*. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00152>
- Reinoso, M. S., Reinoso, M. de la C. S., Alonso, C. A. T., Alonso, C. A. T., Alonso, A. T., Hernández, B. P., & Hernández, B. P. (2020). *Construcción de hipertextos para la carrera de Ingeniería en Procesos Agroindustriales en educación a distancia*. <https://www.semanticscholar.org/paper/b1d71f4b9406d78ce2cb96faf6071325ff0ac70b>
- Reinoso, S., Alexis, Alonso, T., Pérez, B., & Hernández. (2020). *Construcción de hipertextos para la carrera de Ingeniería en Procesos Agroindustriales en educación a distancia*. <https://www.semanticscholar.org/paper/66e6be4e5cad67efdee78fa13a39b26ee96cb3e2>
- Rodrigues, T. V. D., Rodrigues, T. V. D., Teixeira, E. C., Teixeira, E. C., Macedo, L. P., Macedo, L. P., Santos, G. M. dos, Santos, G. M. dos, Burkert, C. A. V., Burkert, C. A. V., Burkert, J. F. de M., & Burkert, J. F. de M. (2022). Agroindustrial byproduct-based media in the production of microbial oil rich in oleic acid and carotenoids. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s00449-022-02692-1>
- Serrano, A. M., Serrano, A. M., Amado, N. P., Amado, N. P., Martínez, M., & Martínez, M. (2020). *Formación empresarial de procesos agroindustriales para asociaciones en Colombia*. <https://www.semanticscholar.org/paper/da94f22f2844d8c8ae8bdfd94f5e2110825e9cb3>

Suárez-Monsalve, D. E. (2024). Implementación de gamificación, asignatura Estandarización de Procesos Agroindustriales y Evaluación de Producto. *Revista Docencia Universitaria*. <https://doi.org/10.18273/revdu.vesp1-2023004>

# CONVERTING CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM BIO-BASED INDUSTRIES INTO SUSTAINABLE CHEMICALS TO MITIGATE CLIMATE CHANGE: A PRACTICAL METHODOLOGY FROM THE PERSPECTIVE OF THE R&D PROJECTS

*Data de submissão: 09/12/2024*

*Data de aceite: 05/02/2025*

### **Raúl Piñero Hernanz**

Biotechnology and Sustainable Chemistry Area, Centre of Technology CARTIF, Parque Tecnológico de Boecillo, 205, 47151, Boecillo (Valladolid). Spain

### **José María Sanz Martín**

Biotechnology and Sustainable Chemistry Area, Centre of Technology CARTIF, Parque Tecnológico de Boecillo, 205, 47151, Boecillo (Valladolid). Spain

**ABSTRACT:** The transition to a low-carbon economy demands innovative approaches to mitigate the growing levels of greenhouse gases, particularly carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). This chapter explores the valorisation of biogenic CO<sub>2</sub> emissions from bio-based industries, positioning it as both an environmental necessity and an economic opportunity. The accelerating climate crisis, driven by rising levels of greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere, has intensified the global push for innovative mitigation strategies. Among these gases, CO<sub>2</sub> is the most abundant, contributing approximately 75% of global GHG emissions. Industrial activities, transportation, and fossil fuel-based energy generation are the primary

sources of these emissions. However, as the world transitions toward a low-carbon economy, bio-based industries are emerging as pivotal players in the dual role of reducing emissions and contributing renewable resources to industrial systems. Bio-based industries encompass sectors that utilize biological resources—such as biomass, agricultural residues, and organic waste—to produce energy, fuels, chemicals, and materials. As a natural consequence of these processes, they generate biogenic CO<sub>2</sub>, a renewable form of carbon dioxide derived from biological systems rather than fossil fuels. Unlike CO<sub>2</sub> emitted from fossil sources, biogenic CO<sub>2</sub> can be seamlessly integrated into circular economy frameworks, allowing for its valorisation into high-value chemicals and fuels that replace carbon-intensive products. Through advanced thermocatalytic, electrocatalytic, and biological technologies, CO<sub>2</sub> can be transformed into high-value products such as methanol, ethanol, organic acids, and polymers. These products have applications across diverse sectors, including energy, agriculture, and materials, supporting the global shift toward circular economy frameworks. The chapter also outlines a practical R&D methodology for scaling CO<sub>2</sub>

valorisation technologies, emphasizing structured experimentation, data-driven optimization, and integration with renewable energy systems. Despite challenges such as infrastructure limitations, economic barriers, and the need for policy support, emerging innovations and collaborative strategies are paving the way for industrial-scale adoption. By redefining CO<sub>2</sub> as a resource rather than a waste product, bio-based industries can play a pivotal role in achieving climate goals and fostering sustainable industrial growth.

**KEYWORDS:** Biogenic CO<sub>2</sub>, sustainable chemicals, CO<sub>2</sub> conversion, gas fermentation, renewable energy integration.

## 1 | OVERVIEW OF BIOGENIC CO<sub>2</sub> SOURCES IN BIO-BASED INDUSTRIES

Biogenic CO<sub>2</sub>, a renewable form of CO<sub>2</sub> derived from biological processes, is emerging as a crucial resource in the transition to a sustainable, circular economy. Unlike CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuels, which contribute to the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere, biogenic CO<sub>2</sub> is part of the short-term carbon cycle, making its utilization inherently carbon-neutral. Bio-based industries, which focus on producing energy, fuels, and chemicals from organic and renewable resources, generate significant volumes of biogenic CO<sub>2</sub> as a by-product. These streams of CO<sub>2</sub>, often concentrated and consistent, hold immense potential for valorisation into sustainable chemicals and fuels.

Several processes within bio-based industries are particularly important for generating biogenic CO<sub>2</sub>. Each offers unique characteristics that determine its suitability for downstream conversion applications. The following discussion explores the primary sources of biogenic CO<sub>2</sub>, their advantages, and the opportunities they present for sustainable industrial processes.

### Biogas and biomethane production

Biogas production through anaerobic digestion (AD) of organic materials such as agricultural residues, food waste, and wastewater is one of the most widespread methods for generating biogenic CO<sub>2</sub>. The anaerobic digestion process breaks down organic matter to produce a mixture of methane (CH<sub>4</sub>) and CO<sub>2</sub>, with the latter typically constituting 30-50% of the gas composition. For biogas to be upgraded into biomethane, a purified form suitable for use as a renewable natural gas, the CO<sub>2</sub> must be separated, resulting in a concentrated stream (Fu *et al.*, 2019) tremendous efforts have been devoted to mitigate the CO<sub>2</sub> accumulation in the atmosphere. Carbon capture and storage (CCS) (Hou *et al.*, 2023).

The CO<sub>2</sub> from biogas upgrading is highly valuable due to its relatively high concentration, which reduces the costs associated with capture and purification. This CO<sub>2</sub> can be used in diverse applications, ranging from GHGs enrichment for agricultural productivity to conversion into methanol and other sustainable chemicals. The economic feasibility of biogas and CO<sub>2</sub> utilization is enhanced by its integration with existing renewable energy systems.

## Fermentation processes

Fermentation is another major source of biogenic CO<sub>2</sub>, particularly in the production of bioethanol. During fermentation, microorganisms metabolize sugars to produce ethanol, releasing CO<sub>2</sub> as a by-product. For example, the bioethanol industry generates nearly pure CO<sub>2</sub> streams as a result of yeast fermentation (Kurt *et al.*, 2023)(Gao *et al.*, 2020).

The high purity of CO<sub>2</sub> from fermentation processes is advantageous for direct applications, such as carbonation in beverages or as an industrial feedstock for organic acids and biopolymers. These qualities make fermentation-derived CO<sub>2</sub> one of the most economically viable sources of biogenic CO<sub>2</sub>, with minimal need for additional processing before utilization. Additionally, its consistent availability aligns with industrial production cycles, making it a reliable feedstock for scalable applications.

## Biomass gasification and pyrolysis

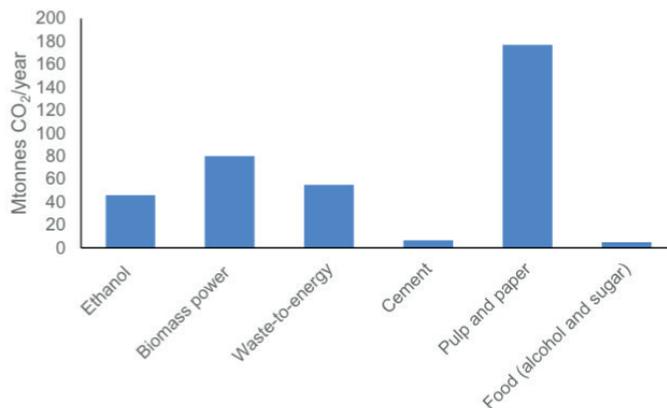
Biomass gasification and pyrolysis are thermal processes that convert organic materials, such as forestry residues and agricultural waste, into syngas—a mixture of carbon monoxide (CO), hydrogen (H<sub>2</sub>), and CO<sub>2</sub>. Gasification, in particular, is gaining attention as a means of generating renewable energy and raw materials for chemical synthesis (Ning, Li and Zhang, 2023)(Wei *et al.*, 2022)

The CO<sub>2</sub> co-produced during gasification can be separated and valorised into chemicals like methanol or formic acid. These processes provide significant flexibility in terms of feedstock, accommodating a wide range of organic materials, and are well-suited for integration into bio-refineries. The scalability of gasification technologies makes them a promising option for centralized CO<sub>2</sub> utilization in industrial hubs.

## Wastewater treatment and algal cultivation

Wastewater treatment facilities are increasingly recognized as sources of biogenic CO<sub>2</sub>, as organic matter in wastewater undergoes microbial decomposition, releasing CO<sub>2</sub>. Some facilities are now integrating algal cultivation systems that capture CO<sub>2</sub> while simultaneously treating wastewater. Algae not only fix CO<sub>2</sub> through photosynthesis but also produce valuable biomass rich in lipids, proteins, and carbohydrates, which can be processed into biofuels and biochemicals (Kajla, Kumari and Nagi, 2022)(Lee *et al.*, 2022).

Algal systems exemplify the synergy between carbon capture and resource recovery, offering dual environmental benefits. By utilizing CO<sub>2</sub> from fermentation or biogas processes to stimulate algal growth, these systems contribute to a circular economy model while providing sustainable feedstocks for a variety of industries.



**Figure 1:** Biogenic CO<sub>2</sub> emissions across North America and Europe in 2024. Available data obtained from <https://www.capturemap.no/the-biogenic-co2-breakdown/>

## Advantages of biogenic CO<sub>2</sub> utilization

The distinctive properties of biogenic CO<sub>2</sub> set it apart from fossil-derived CO<sub>2</sub>. One of its most significant advantages is its renewability, as it is inherently part of the natural carbon cycle. Additionally, biogenic CO<sub>2</sub> streams from fermentation and biogas upgrading are often of higher purity, reducing the costs and complexity of downstream processing (Hou *et al.*, 2023)(Aziz, Abad and Onaizi, 2024). Economic opportunities abound for industries seeking to integrate biogenic CO<sub>2</sub> into their processes. By converting what would otherwise be treated as waste into valuable products, bio-based industries can create new revenue streams while reducing their overall carbon footprint. Moreover, the alignment of biogenic CO<sub>2</sub> utilization with renewable energy systems enables the production of truly carbon-neutral or even carbon-negative products.

## Challenges in utilizing biogenic CO<sub>2</sub>

Despite its potential, the utilization of biogenic CO<sub>2</sub> faces several barriers. The lack of infrastructure for the transport and storage of CO<sub>2</sub> remains a significant challenge, particularly for small-scale facilities that produce CO<sub>2</sub> in dispersed locations. Additionally, certain CO<sub>2</sub> streams, such as those from wastewater treatment, may contain impurities that require costly purification processes (Ning, Li and Zhang, 2023). Economic barriers also persist, as the high initial investment costs for capture and conversion technologies can deter widespread adoption. However, these challenges can be mitigated through policy support, such as carbon pricing mechanisms and subsidies for sustainable technologies.

As a summary, biogenic CO<sub>2</sub>, derived from bio-based industries, represents a renewable and versatile carbon source that holds great promise for mitigating climate change. Its availability from diverse processes such as biogas production, fermentation, and

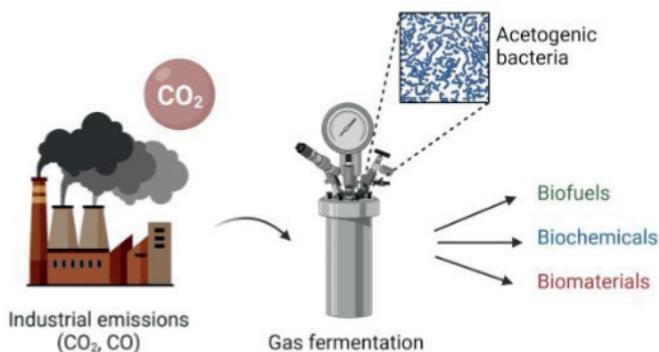
algal cultivation underscores its potential to support sustainable industrial transformation. While challenges remain in terms of infrastructure, purification, and economic feasibility, continued advancements in technology and supportive policy frameworks are paving the way for the widespread adoption of biogenic CO<sub>2</sub> utilization. By viewing CO<sub>2</sub> not as waste but as a resource, bio-based industries can play a pivotal role in shaping a circular, low-carbon future.

## 2 | STATE-OF-THE-ART OF THE TECHNOLOGIES FOR CO<sub>2</sub> CONVERSION

The transformation of CO<sub>2</sub> into sustainable chemicals and fuels represents a critical frontier in addressing climate change and fostering a circular economy. Biological, thermocatalytic, and electrocatalytic processes are leading approaches in this field, each offering distinct mechanisms and advantages. This section examines these technologies, supported by recent advancements and references to key literature.

### Biological processes: Gas fermentation

Biological CO<sub>2</sub> conversion, particularly through gas fermentation, leverages microorganisms to transform CO<sub>2</sub> into high-value products such as ethanol and acetic acid. Acetogens are commonly employed in this context, using the Wood-Ljungdahl pathway (WLP) to fix CO<sub>2</sub> and convert it into organic compounds such as acetic acid, a precursor for biodegradable plastics and biopolymers (Fu et al., 2019) (Lee et al., 2022). Gas fermentation typically combines CO<sub>2</sub> with H<sub>2</sub> or syngas (a mixture of CO, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>), enabling efficient metabolic pathways. The addition of renewable H<sub>2</sub> is particularly promising for enhancing process sustainability (Hou et al., 2023). The general scheme of the gas fermentation process from CO<sub>2</sub> as feedstock is represented in Figure 2.



**Figure 2** -Scheme of gas fermentation process for the production of sustainable chemicals and fuels.

Also known as the reductive acetyl-CoA pathway, the WLP is the only linear CO<sub>2</sub> fixation pathway leading to acetyl-CoA and is regarded as the most efficient non-

photosynthetic mechanism for carbon fixation (Drake et al, 2008). In this linear pathway, two one-carbon units are compensated to form two-carbon building block acetyl-CoA. While these specialized energy-conservation mechanisms are widespread among acetogens, they are absent in traditional model organisms such as *Escherichia coli* or yeast.

Acetogens are ubiquitous in anaerobic environments, such as soil, animal and human guts, sediments, the deep sea, and hot springs. Several hundred acetogens have been isolated to date, spanning at least 25 different genera and including psychrophiles, mesophiles, thermophiles, and halophile (Drake et al., 2006). For biotechnological applications, mostly acetogenic clostridia are considered because many species are among the fastest-growing acetogens, already make products other than acetate, and have been used industrially. These acetogens have been studied for their potential to convert C1 feedstocks into valuable products, including *Clostridium ljungdahlii*, known for its ability to produce ethanol and acetate efficiently, making it a cornerstone for industrial applications (Köpke et al., 2010). *Clostridium autoethanogenum*, similar to *Clostridium ljungdahlii*, excels in ethanol production and has been extensively engineered for improved yields and expanded product portfolios (Liew et al., 2017). *Clostridium carboxidivorans* produces longer-chain alcohols such as n-butanol alongside acetate and ethanol, offering flexibility in the range of potential products derived from acetyl-CoA. *Clostridium drakei* and *Clostridium scatologenes* produce butyric acid, a chemical with applications in the food and chemical industries (Liou et al., 2013). Besides clostridia, a few other species, including *Acetobacterium woodii*, *Moorella thermoacetica*, and *Eubacterium limosum*, are also considered as good producers of added-value products for industrial use (Fakler et al., 2021). *Alkalibaculum bacchi* thrives in alkaline conditions, producing acetate and ethanol, which makes it useful for specific industrial setups (Liu et al., 2012). Finally, *Butyribacterium methylotrophicum* specializes in producing n-butanol and butyrate, further diversifying the potential outputs from gas fermentation processes (Humphreys et al., 2022).

Microorganism	Product	Carbon conversion efficiency (%)	Operating conditions	Reference
<i>Clostridium ljungdahlii</i>	Ethanol	85.0	37°C, Anaerobic, CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> /CO	Infantes et al., 2020
<i>Moorella thermoacetica</i>	Acetate	88.3	55°C, Anaerobic, CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub>	Harahap et al., 2023
<i>Acetobacterium woodii</i>	Acetate, acetone, formate	64.8	30°C, Anaerobic, CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Tarraran et al., 2022

Table 1 Examples of microorganisms and conversion efficiencies in gas fermentation

Microbial systems are celebrated for their high specificity in producing multicarbon compounds, which are challenging to synthesize through chemical methods. For example, gas fermentation has been industrially optimized to yield significant quantities of acetic acid

and alcohols, reducing reliance on fossil-based precursors (Fu et al., 2019) (Lee et al., 2022). The versatility of acetogens lies in their ability to produce a wide range of chemicals from C1 feedstocks, with the main products including acetate, which serves as a precursor for polymers, solvents, and other chemicals, ethanol, which is extensively used in fuel, beverages, and industrial applications, and 2,3-butanediol, an intermediate for synthetic rubber, pharmaceuticals, and other materials. Other notable products include n-butanol and butyric acid, used in manufacturing solvents, plastics, and perfumes, and 1,3-butadiene, which is essential for synthetic rubber production and can now be synthesized through advanced metabolic engineering from intermediates like 2,3-butanediol.

Compound	Titer	Yield	Productivity	Microorganism	Reference
Acetate	833 mM	n.a	479 mmol/l/day	<i>A. woodii</i>	(Straub et al., 2014)
Acetone	52 mM	n.a.	10.9 mmol/l/day	<i>A. woodii</i> (GM)	(Hoffmeister et al., 2016)
Butanol	6 mM	0.074 mol/mol CO	3.5 mmol/l/day	<i>C. autoethanogenum</i> / <i>C. kluyveri</i>	(Diender et al., 2016)
Butyrate	220 mM	n.a.	227 mmol/l/day	<i>C. ljungdahlii</i>	(Vasudevan et al., 2014)
Caproate	8.6 mM	n.a.	14.7 mmol/l/day	<i>C. ljungdahlii</i>	(Vasudevan et al., 2014)
Ethanol	450 mM	0.14 mol/mol CO	193 mmol/l/day	<i>C. ljungdahlii</i>	(Richter et al., 2013)
Hexanol	4 mM	0.05 mol/mol CO	2 mmol/l/day	<i>C. autoethanogenum</i> / <i>C. kluyveri</i>	(Diender et al., 2016)

**Table 2:** Examples of titer, yield and volumetric productivity of some important gas fermentation target products.

Industrial initiatives have embraced the potential of acetogens, with companies like LanzaTech (<https://lanzatech.com/>) leading the commercialization of acetogen-based fermentation technologies to produce ethanol and other chemicals using industrial waste gases. In this sense, LanzaTech has demonstrated scalability with facilities in China, Belgium, and the USA, showcasing the ability to transform steel mill off-gases and other emissions into valuable products (Liew et al, 2016).

Despite their immense potential, challenges remain in optimizing acetogens for industrial applications. Genetic engineering for some acetogens is less advanced compared to model organisms like *Escherichia coli* or *Saccharomyces cerevisiae*, requiring further development of tools to enhance product yields and expand metabolite diversity. Mass transfer limitations in gas-to-liquid substrate delivery, such as for CO and H<sub>2</sub>, present operational challenges that need innovative reactor designs and process strategies to overcome. Energy requirements for CO<sub>2</sub>-based pathways necessitate external energy inputs, and integrating renewable energy sources like hydrogen derived from water electrolysis

could enhance sustainability. Efficient and cost-effective methods for product recovery and purification remain essential for the commercialization of acetogen-based processes.

As a conclusion, acetogenic microorganisms represent a transformative solution to global challenges, such as greenhouse gas emissions and resource scarcity, by converting waste gases into valuable chemicals, thus contributing to both environmental sustainability and economic opportunity. Continued research in genetic engineering, process optimization, and industrial scaling is expected to unlock the full potential of these remarkable microorganisms and their capacity to drive a sustainable bioeconomy applications (Zhou et al., 2024) (Aziz et al., 2024).

## 2.1 Thermocatalytic and electrocatalytic processes

Thermocatalytic and electrocatalytic processes are chemically driven approaches that offer rapid reaction rates and compatibility with industrial-scale operations. These methods rely on catalysts to transform CO<sub>2</sub> into valuable products, ranging from fuels to polymers.

### *Thermocatalytic processes*

Thermocatalysis involves the use of heat and catalysts to drive the reduction of CO<sub>2</sub>. Among the most widely studied thermocatalytic pathways is CO<sub>2</sub> hydrogenation, where CO<sub>2</sub> reacts with hydrogen to produce methanol. Copper-zinc-aluminium catalysts are commonly used, achieving high efficiencies at elevated temperatures (200–300°C) and pressures (20–50 bar) (Hou *et al.*, 2023)(Wei *et al.*, 2022). Methanol synthesis is crucial for producing fuels, plastics, and solvents, making it a cornerstone of the chemical industry.

Another significant thermocatalytic pathway is Fischer-Tropsch synthesis, which first converts CO<sub>2</sub> into syngas through a reverse water-gas shift reaction. Syngas is then catalytically processed into hydrocarbons like diesel and kerosene using iron or cobalt catalysts. This method is gaining traction for producing sustainable aviation fuels and e-diesel.

### *Electrocatalytic processes*

Electrocatalysis utilizes electricity, preferably from renewable sources, to reduce CO<sub>2</sub> in electrochemical cells. Products of this method include formic acid, methanol, and hydrocarbons such as ethylene and ethanol. Copper-based catalysts are particularly effective for producing multicarbon compounds, with advances in nanostructured designs enhancing reaction rates and product selectivity (Wu *et al.*, 2021) (Ning, Li and Zhang, 2023).

Electrocatalytic systems are well-suited for integration with renewable energy,

such as solar or wind power. Solar-driven systems, which couple photovoltaic cells with electrochemical reactors, have demonstrated potential for carbon-neutral operations. However, these systems face challenges such as competition from the hydrogen evolution reaction (HER), which reduces CO<sub>2</sub> reduction efficiency, and durability issues with electrode materials during prolonged operations (Gao *et al.*, 2020) (Kurt *et al.*, 2023).

Hybrid systems combining thermocatalysis and electrocatalysis are being developed to leverage the strengths of both methods. For instance, thermal activation of CO<sub>2</sub> followed by electrochemical reduction has shown promise in producing complex products with higher yields (Hou *et al.*, 2023) (Aziz *et al.*, 2024).

### *Emerging technologies*

Emerging technologies are expanding the possibilities for CO<sub>2</sub> conversion, offering innovative pathways and improved efficiencies. Photoelectrochemical systems, for instance, integrate the principles of electrocatalysis and photocatalysis to harness solar energy for CO<sub>2</sub> reduction. These systems utilize light-absorbing semiconductor electrodes to catalyze reactions, presenting a pathway for truly sustainable operations. Plasma-assisted CO<sub>2</sub> conversion is another cutting-edge approach. This technology uses ionized gas (plasma) to activate CO<sub>2</sub> molecules, facilitating their conversion into syngas or hydrocarbons. Plasma-assisted systems are particularly suitable for decentralized applications due to their compact reactor designs and high reaction rates (Alli *et al.*, 2023).

Hybrid electrochemical-biological systems combine the strengths of electrocatalysis and microbial fermentation. In these systems, CO<sub>2</sub> is first converted into simple compounds like formate or acetate via electrochemical reduction, which are then metabolized by microorganisms to produce higher-value chemicals such as alcohols and biopolymers. These systems offer enhanced flexibility and efficiency, making them a promising avenue for future research and industrial implementation (Chu *et al.*, 2020).

As a conclusion, talking about CO<sub>2</sub> conversion we can find diverse strategies required to transform a waste product into valuable resources. Biological processes, particularly gas fermentation, are well-suited for producing complex organic compounds under energy-efficient conditions. Thermocatalytic and electrocatalytic pathways, supported by innovations in catalysts and reactor design, offer rapid conversion rates and scalability for industrial applications. Emerging technologies, such as photoelectrochemical systems and plasma-assisted conversion, further expand the scope of CO<sub>2</sub> valorisation. Continued advancements in these fields, coupled with supportive policies and renewable energy integration, will be critical for overcoming current limitations and achieving large-scale adoption.

### 3 | APPLICATIONS AND MARKET POTENTIAL OF SUSTAINABLE CHEMICALS

The conversion of CO<sub>2</sub> into sustainable chemicals has rapidly evolved as a pivotal strategy in addressing global climate change while creating economic opportunities. By leveraging biological, thermocatalytic, and electrocatalytic technologies, industries are unlocking new avenues for transforming CO<sub>2</sub> into high-value products. These products span across a variety of sectors, including energy, chemicals, and agriculture, offering a pathway to reduce dependence on fossil fuels and lower greenhouse gas emissions. This section explores the key applications and market dynamics of sustainable chemicals derived from CO<sub>2</sub>.

#### Key products derived from CO<sub>2</sub> conversion

One of the most promising applications of CO<sub>2</sub> conversion is the production of alcohols, such as methanol and ethanol. Methanol serves as a versatile chemical feedstock and an energy carrier. It is used in producing formaldehyde, acetic acid, and dimethyl ether (DME), which are essential for manufacturing plastics, adhesives, and fuel additives. The use of methanol as a substitute for traditional fossil fuels in clean energy systems has further bolstered its market demand.

Ethanol, another is widely utilized as a biofuel and as a precursor for ethylene production, a primary building block for plastics and resins. Its sustainable production through biological and chemical pathways aligns with the global push for decarbonizing transportation and industrial processes.

In addition to alcohols and organics acids are crucial outputs of CO<sub>2</sub> conversion. Formic acid, often produced via electrocatalytic reduction of CO<sub>2</sub>, finds applications in agriculture as a silage preservative and in energy storage as a hydrogen carrier. Acetic acid, synthesized through gas fermentation, can be transformed into biopolymers and other biodegradable materials by additional fermentation processes, expanding its role in sustainable packaging and consumer goods.

#### Polymers and olefins

The production of polymers is a transformative solution for the plastics and materials industry. Polycarbonates, produced by coupling CO<sub>2</sub> with epoxides, provide lightweight and durable materials for use in automotive components, electronics, and packaging. Meanwhile, the catalytic conversion of CO<sub>2</sub> into ethylene and propylene—key olefins—represents a significant breakthrough in reducing the carbon footprint of the polymer industry.

These CO<sub>2</sub>-derived materials not only reduce reliance on petrochemical feedstocks but also support incorporating renewable carbon sources into industrial supply chains.

## Energy and fuel applications

CO<sub>2</sub>-derived chemicals are playing an increasingly critical role in the energy sector. Methanol and formic acid are being utilized as energy carriers in fuel cells, offering cleaner alternatives to conventional fossil fuels. Synthetic fuels, such as e-diesel and e-kerosene, produced via Fischer-Tropsch synthesis, are gaining traction in decarbonizing sectors like aviation and shipping (Suppiah, Daud and Johan, 2021).

Furthermore, the integration of CO<sub>2</sub> conversion technologies with renewable energy sources, such as solar and wind, has enabled the development of for instance, solar-powered electrocatalytic processes for hydrogenation. These processes are paving the way for large-scale adoption of green fuels (Quang, Milani and Abu Zahra, 2023).

## Agriculture and fertilizers

In agriculture, CO<sub>2</sub>-derived chemicals are increasingly used to enhance productivity and sustainability. Urea production, which combines ammonia and CO<sub>2</sub>, has seen improvements in emissions intensity through advanced catalytic methods. Additionally, formic acid is employed as a preservative in animal feed, ensuring the longevity and safety of agricultural products.

Beyond fertilizers, CO<sub>2</sub>-based innovations are also entering the realm of bio-based materials, where algae cultivation systems use CO<sub>2</sub> to produce biomass for biofuels, proteins, and other agricultural inputs.

## Market dynamics and potential

The market for CO<sub>2</sub>-derived chemicals is poised for rapid growth, driven by technological advancements and regulatory pressures to decarbonize industrial sectors. Methanol and ethanol markets alone are projected to grow at a compound annual growth rate (CAGR) of over 6%, supported by their adoption in clean energy systems and as sustainable feedstocks for chemical production.

Polymers and plastics derived from CO<sub>2</sub>, including polycarbonates and olefins, are also witnessing increased demand due to the global shift toward sustainable materials. The potential for CO<sub>2</sub>-derived polymers to replace conventional plastics in packaging and consumer goods offers substantial market opportunities.

Despite these advancements, challenges remain. The high costs of capture and conversion technologies, coupled with the need for large-scale infrastructure, pose significant barriers to widespread adoption. However, government incentives, such as carbon pricing and subsidies for renewable energy integration, are creating a more favourable environment for scaling up these solutions.

As a conclusion, CO<sub>2</sub> conversion technologies are unlocking a wide array of applications across chemicals, energy, and agriculture, with significant market potential

to drive sustainable industrial practices. By transforming CO<sub>2</sub> into alcohols, organic acids, polymers, and fuels, these innovations are not only mitigating carbon emissions but also redefining the role of CO<sub>2</sub> as a valuable resource. Continued advancements in catalyst design, reactor efficiency, and integration with renewable energy systems will be critical in realizing the full potential of CO<sub>2</sub>-derived products in global markets.

## 4 | PRACTICAL METHODOLOGY FOR R&D IN CO<sub>2</sub> VALORISATION

*Defining a practical R&D methodology: CARTIF Biotech & Sustainable Chemistry Area in CARTIF Technology Centre.*

The successful development and scaling of CO<sub>2</sub> valorisation technologies rely heavily on structured R&D methodologies that integrate scientific innovation with industrial feasibility. From laboratory-scale experiments to pilot studies, practical methodologies ensure that advancements align with real-world applications. This section outlines a comprehensive framework for conducting R&D in CO<sub>2</sub> conversion, leveraging the expertise and infrastructure of research teams, such as the Biotechnology and Sustainable Chemistry (BQS) Area of CARTIF Technology Centre to bridge the gap between concept and implementation.

Developing successful CO<sub>2</sub> valorisation technologies involves multiple stages, from conceptual design and experimentation to validation and scale-up. Each stage builds upon iterative cycles of hypothesis testing, data generation, and optimization.

At the core of this methodology is the integration of three pillars:

- 1. Process understanding:** Fundamental knowledge of chemical, biological, and physical phenomena driving CO<sub>2</sub> conversion.
- 2. Technology development:** Experimental set-ups and protocols to evaluate catalysts, microbial strains, reactor configurations, and operating parameters.
- 3. Data-driven optimization:** Use of high-throughput experiments, advanced analytics, and computational tools to refine processes and predict performance at larger scales.

### Experimental methodology: Laboratories as the nexus of innovation

Within this approach, laboratory-scale experiments form the backbone of R&D efforts in CO<sub>2</sub> valorisation. Advanced equipment and tailored experimental protocols enable researchers to simulate real-world operating conditions, assess performance metrics, and identify bottlenecks.

At CARTIF's BQS laboratory, we have developed capabilities to test a wide array of CO<sub>2</sub> valorisation processes, including gas fermentation, electrocatalytic reduction, and thermocatalytic hydrogenation. Equipped with bioreactors for microbial studies, gas diffusion cells for electrocatalysis, and analytical instruments such as gas and liquid chromatographs,

the lab supports multidisciplinary investigations.

For example, in gas fermentation processes, acetogenic bacteria such as *Moorella thermoacetica* and *Clostridium autoethanogenum* have been evaluated for their ability to convert CO<sub>2</sub> into acetic acid and ethanol. Under controlled conditions, we have observed conversion efficiencies exceeding 70%, highlighting the potential of these microorganisms in producing valuable biochemicals. These findings align with reported efficiencies in the literature (Ning, Li and Zhang, 2023)(Acuña López *et al.*, 2024) demonstrating the practical applicability of such systems.

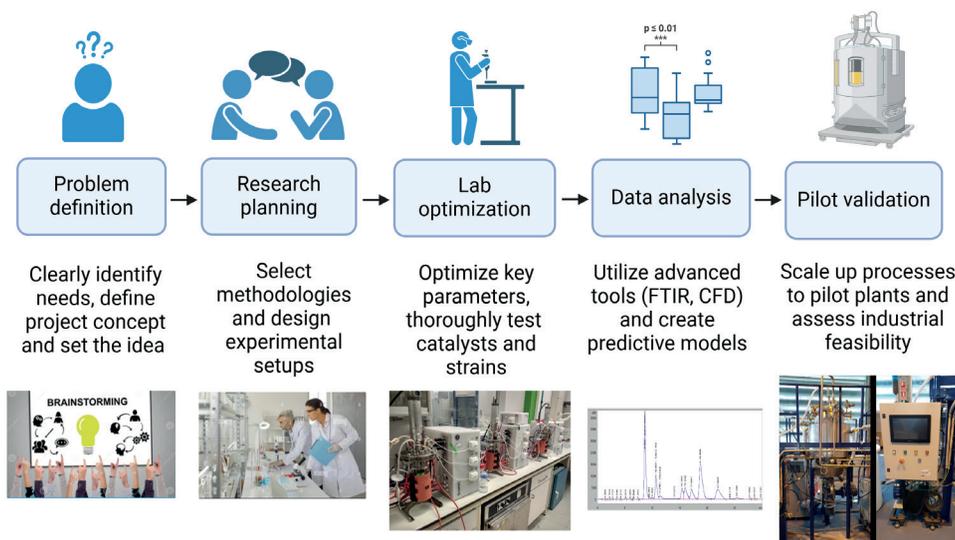


Figure 3. The R&D Workflow: A schematic showing the R&D workflow, from problem definition to pilot scale validation, integrated with BQS lab capabilities.

## Integration of advanced tools. Data synthesis and visual representation

Modern R&D methodologies leverage advanced analytical and computational tools to accelerate the discovery and optimization of CO<sub>2</sub> conversion pathways. High-throughput experimentation, combined with machine learning algorithms, allows researchers to analyze vast datasets and identify correlations between process variables and outcomes.

For instance, at CARTIF, we utilize spectroscopic tools like FTIR and mass spectrometry to monitor reaction intermediates in real-time, providing insights into reaction kinetics and catalyst stability. Additionally, computational fluid dynamics (CFD) simulations are employed to optimize reactor designs, ensuring uniform mass and energy distribution across operating conditions. These tools enhance the predictive capability of experimental studies, reducing the time and cost associated with trial-and-error approaches.

The complexity of CO<sub>2</sub> valorisation technologies often necessitates clear and concise data visualization to communicate findings effectively. For example, Table 3 below

summarizes key microorganisms used in gas fermentation processes, along with their conversion efficiencies and key conditions. Such summaries provide a snapshot of the state of the art while guiding future investigations.

Microorganism	Product	Conversion efficiency (%)	Key conditions
<i>Acetobacterium woodii</i>	Acetate	60–65	Anaerobic, 30°C, CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub>
<i>Moorella thermoacetica</i>	Acetate	75–80	Anaerobic, 60°C, CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> /CO
<i>Clostridium autoethanogenum</i>	Ethanol	50–55	Anaerobic, 37°C, CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> /CO

Table 3 Microorganisms used in gas fermentation for CO<sub>2</sub> conversion.

## Collaborative research and scaling-up

Transitioning from laboratory-scale experiments to pilot-scale validation is a critical step in the R&D methodology. At CARTIF, we have developed collaborative research programs with industry partners to scale promising CO<sub>2</sub> valorisation technologies. Our pilot-scale facilities include modular bioreactors and electrocatalytic systems capable of processing multiple kilograms of CO<sub>2</sub> daily. These facilities allow us to evaluate the performance of technologies under industrially relevant conditions, bridging the gap between academic research and real-world implementation.

As a conclusion, we can say that by adopting a structured and iterative R&D methodology, researchers and practitioners can unlock the full potential of CO<sub>2</sub> valorisation technologies. At CARTIF's BQS area, we continue to leverage state-of-the-art equipment, multidisciplinary expertise, and collaborative partnerships to advance this field. These efforts not only contribute to scientific knowledge but also drive real-world solutions for mitigating climate change.

## 5 | FUTURE CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR SCALING UP CO<sub>2</sub> CONVERSION TECHNOLOGIES

The large-scale implementation of CO<sub>2</sub> conversion technologies is critical for achieving climate goals and establishing a sustainable industrial model. However, significant challenges remain in scaling up these technologies to meet industrial demands while maintaining economic feasibility and environmental sustainability. This section discusses the key obstacles and potential strategies to overcome them, focusing on catalyst innovation, reactor design, integration with renewable energy, and economic considerations.

## Challenges in catalyst design and efficiency

Catalyst efficiency, stability, and cost remain central challenges in scaling CO<sub>2</sub> conversion technologies. Current catalysts, such as those used in electrocatalysis, often suffer from deactivation during prolonged operations. For example, noble metal catalysts like platinum exhibit high activity but are economically unviable for large-scale applications due to their cost and limited availability. Stable and affordable alternatives, such as metal-organic frameworks (MOFs) and single-atom catalysts, is a promising avenue. These materials demonstrate enhanced selectivity and activity but face hurdles related to durability and reproducibility in industrial settings. Future research must tackle structures, incorporating low-cost materials, and improving resistance to deactivation under real-world conditions.

Reactor Design and Process plays a crucial role in determining the efficiency and scalability of CO<sub>2</sub> conversion systems. Flow electrolyzers and membrane-electrode assembly (MEA) systems have emerged as leading reactor configurations for electrocatalytic processes. However, these technologies face challenges in managing mass transfer, maintaining stability, and scaling up to industrial capacities.

Future advancements in reactor design should focus on enhancing gas diffusion layers and optimizing operating conditions such as temperature and pressure. Additionally, modular reactor designs capable of integrating multiple conversion pathways (e.g., combining electrochemical and thermocatalytic processes) hold significant potential for improving scalability and efficiency.

## Integration with renewable energy sources

The reliance on renewable energy (sun, wind, etc.) is essential for the sustainability of CO<sub>2</sub> conversion technologies. However, the intermittency of renewable energy poses a challenge to the consistent operation of systems such as electrocatalytic reactors. Energy storage solutions, such as batteries or hydrogen, must be integrated into CO<sub>2</sub> conversion processes to enduring periods of low renewable energy availability.

Moreover, hybrid systems that combine renewable energy with advanced technologies, such as photoelectrochemical systems, offer opportunities to maximize energy utilization while reducing overall emissions.

## Economic barriers and policy support

High capital costs and operational expenses are significant barriers to the wide dispersion of these technologies. The cost of renewable hydrogen, a critical input for many processes, remains prohibitively high for large-scale applications. Policy interventions, such as subsidies for green hydrogen production and carbon pricing mechanisms, can play a vital role in bridging this economic gap.

Additionally, to create CO<sub>2</sub> utilization clusters where industries collaborate to share infrastructure and resources, can reduce costs and improve the economic viability of these technologies.

## Opportunities in emerging markets and research areas

Emerging markets for CO<sub>2</sub>-derived chemicals, such as methanol, formic acid, and polymers, present significant products align with global trends toward sustainable materials and fuels, creating demand for innovative conversion technologies.

Advanced research areas, including machine learning for catalyst design and the development of hybrid biological-electrochemical systems, offer additional opportunities for innovation. These approaches ca of efficient materials and processes, ultimately enabling faster commercialization of CO<sub>2</sub> conversion technologies.

## 6 | CONCLUSIONS

Scaling up CO<sub>2</sub> conversion technologies to industrial levels involves overcoming substantial challenges in catalyst development, reactor design, renewable energy integration, and economic feasibility. This must be balanced by significant opportunities in emerging markets, policy support, and technological advancements. By addressing these challenges through targeted research and collaborative efforts, the vision of a sustainable, CO<sub>2</sub>-based circular economy can become a reality.

## REFERENCES

Acuña López, P. *et al.* (2024) 'Demonstrating Pilot-Scale Gas Fermentation for Acetate Production from Biomass-Derived Syngas Streams', *Fermentation*, 10(6). doi: 10.3390/fermentation10060285.

Alli, Y. A. *et al.* (2023) 'Nanomaterials as catalysts for CO<sub>2</sub> transformation into value-added products: A review', *Science of the Total Environment*, 868. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.161547.

Aziz, R., Abad, S. and Onaizi, S. A. (2024) 'Electrochemical conversion of CO<sub>2</sub> using metalorganic frameworks-based materials: A review on recent progresses and outlooks', *Chemosphere*, 365(June), p. 143312. doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.143312.

Chu, N. *et al.* (2020) 'Microbial electrochemical platform for the production of renewable fuels and chemicals', *Biosensors and Bioelectronics*, 150(September 2019), p. 111922. doi: 10.1016/j.bios.2019.111922.

Drake, H. L., Gössner, A. S., and Daniel, S. L. (2008). Old acetogens, new light. *Ann.N.Y. Acad. Sci.* 1125, 100–128. doi: 10.1196/annals.1419.016

Drake HL, Küsel K, Matthies C, Wood HG, Ljungdahl LG. 2006. Acetogenic prokaryotes. In *The Prokaryotes*, ed. M Dworkin, S Falkow, E Rosenberg, K-H Schleifer, E Stackebrandt, pp. 354–420. NewYork: Springer. 3rd ed

Fackler N, Heijstra BD, Rasor BJ, Brown H, Martin J, Ni Z, Shebek KM, Rosin RR, Simpson SD, Tyo KE, Giannone RJ, Hettich RL, Tschaplinski TJ, Leang C, Brown SD, Jewett MC, Köpke M. Stepping on the Gas to a Circular Economy: Accelerating Development of Carbon-Negative Chemical Production from Gas Fermentation. *Annu Rev Chem Biomol Eng.* 2021 Jun 7;12:439-470

Fu, H. C. *et al.* (2019) 'CO<sub>2</sub> Capture and in situ Catalytic Transformation', *Frontiers in Chemistry*, 7(July), pp. 1–15. doi: 10.3389/fchem.2019.00525.

Gao, P. *et al.* (2020) 'Novel heterogeneous catalysts for CO<sub>2</sub> hydrogenation to liquid fuels', *ACS Central Science*, 6(10), pp. 1657–1670. doi: 10.1021/acscentsci.0c00976.

Hou, S. L. *et al.* (2023) 'Thermocatalytic Conversion of CO<sub>2</sub> to Valuable Products Activated by Noble-Metal-Free Metal-Organic Frameworks', *Angewandte Chemie - International Edition*, 62(34). doi: 10.1002/anie.202305213.

Humphreys JR, Hebdon SD, Rohrer H, Magnusson L, Urban C, Chen YP, Lo J. Establishing *Butyrivibacterium methylotrophicum* as a Platform Organism for the Production of Biocommodities from Liquid C1 Metabolites. *Appl Environ Microbiol.* 2022 Mar 22;88(6):e0239321

Kajla, S., Kumari, R. and Nagi, G. K. (2022) 'Microbial CO<sub>2</sub> fixation and biotechnology in reducing industrial CO<sub>2</sub> emissions', *Archives of Microbiology*, 204(2), pp. 1–20. doi: 10.1007/s00203-021-02677-w.

Köpke M, Held C, Hujer S, Liesegang H, Wiezer A, Wollherr A, Ehrenreich A, Liebl W, Gottschalk G, Dürre P. *Clostridium ljungdahlii* represents a microbial production platform based on syngas. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2010 Jul 20;107(29):13087-92.

Kurt, E. *et al.* (2023) 'Perspectives for Using CO<sub>2</sub> as a Feedstock for Biomanufacturing of Fuels and Chemicals', *Bioengineering*, 10(12), pp. 1–41. doi: 10.3390/bioengineering10121357.

Lee, H. *et al.* (2022) 'Engineering Acetogenic Bacteria for Efficient One-Carbon Utilization', *Frontiers in Microbiology*, 13(May). doi: 10.3389/fmicb.2022.865168.

Liew F, Martin ME, Tappel RC, Heijstra BD, Mihalcea C and Köpke M (2016) Gas Fermentation—A Flexible Platform for Commercial Scale Production of Low-Carbon-Fuels and Chemicals from Waste and Renewable Feedstocks. *Front. Microbiol.* 7:694.

Liew F, Henstra AM, Köpke M, Winzer K, Simpson SD, Minton NP. Metabolic engineering of *Clostridium autoethanogenum* for selective alcohol production. *Metab Eng.* 2017 Mar;40:104-114.

Liu K, Atiyeh HK, Tanner RS, Wilkins MR, Huhnke RL. Fermentative production of ethanol from syngas using novel moderately alkaliphilic strains of *Alkalibaculum bacchi*. *Bioresour Technol.* 2012 Jan;104:336-41.

Liou JS, Balkwill DL, Drake GR, Tanner RS. *Clostridium carboxidivorans* sp. nov., a solvent-producing clostridium isolated from an agricultural settling lagoon, and reclassification of the acetogen *Clostridium scatologenes* strain SL1 as *Clostridium drakei* sp. nov. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2005 Sep;55(Pt 5):2085-2091.

Ning, H., Li, Y. and Zhang, C. (2023) 'Recent Progress in the Integration of CO<sub>2</sub> Capture and Utilization', *Molecules*, 28(11), pp. 1–14. doi: 10.3390/molecules28114500.

Quang, D. V., Milani, D. and Abu Zahra, M. (2023) 'A review of potential routes to zero and negative emission technologies via the integration of renewable energies with CO<sub>2</sub> capture processes', *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 124(February), p. 103862. doi: 10.1016/j.ijggc.2023.103862.

Suppiah, D. D., Daud, W. M. A. W. and Johan, M. R. (2021) 'Supported metal oxide catalysts for CO<sub>2</sub> Fischer–Tropsch conversion to liquid fuels - A review', *Energy and Fuels*, 35(21), pp. 17261–17278. doi: 10.1021/acs.energyfuels.1c02406.

Wei, K. *et al.* (2022) 'Recent advances in CO<sub>2</sub> capture and reduction', *Nanoscale*, 14(33), pp. 11869–11891. doi: 10.1039/d2nr02894h.

Wu, L. *et al.* (2021) 'Upgrading biogas produced in anaerobic digestion: Biological removal and bioconversion of CO<sub>2</sub> in biogas', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150(July). doi: 10.1016/j.rser.2021.111448.

# DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO E CONFORTO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES DE CENTROS E NÚCLEOS DA UNICAMP

*Data de submissão: 27/11/2024*

*Data de aceite: 05/02/2025*

### **Mauro D. Berni**

Pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), UNICAMP.

### **Paulo C. Manduca**

Pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), UNICAMP.

**RESUMO:** Este trabalho tem como principal objetivo o estudo detalhado da eficiência hidroenergética e as oportunidades para implantação de estratégias sustentáveis na edificação do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) – UNICAMP – reduzindo os consumos de energia e de água, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e 12 da ONU. As estratégias como substituição de luminárias, equipamentos de ar-condicionado e dispositivos hidráulicos foram propostas, visando otimizar o consumo dos recursos; bem como, a análise para viabilizar essas estratégias. Verificou-se que o sistema de ar-condicionado e iluminação são os sistemas de maior consumo de energia na edificação e as propostas de alterações

contribuíram para a redução do consumo de energia e de água significativamente, sendo que os equipamentos de ar-condicionado foram os mostraram os menores ganhos de eficiência. A análise da viabilidade econômica demonstrou que essas intervenções não apenas contribuem para a sustentabilidade ambiental, mas também apresentam retornos financeiros positivos. Como principal produto do trabalho, tem-se um arcabouço metodológico acreditado que poderá ser replicado em outras edificações da UNICAMP, bem como indicação das alternativas para a otimização hidroenergética e de conforto ambiental à edificação NIPE/UNICAMP, contemplando as possíveis tecnologias de gestão “transversal” dos recursos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Edificação sustentável. Eficiência hidroenergética. Consumo sustentável.

**ABSTRACT:** This work's main objective is the detailed study of hydroenergy efficiency and the opportunities for implementing sustainable strategies in the construction of the Interdisciplinary Center for Energy Planning (NIPE) – UNICAMP – reducing energy and water consumption, in line with the Development Objectives Sustainable

Development Goals (SDGs) 7 and 12 of the UN. Strategies such as replacing lighting fixtures, air conditioning equipment and hydraulic devices were proposed, aiming to optimize resource consumption; as well as the analysis to make these strategies viable. It was found that the air conditioning and lighting systems are the systems with the highest energy consumption in the building and the proposed changes contributed to reducing energy and water consumption significantly, with air conditioning equipment being the showed the smallest efficiency gains. Analysis of economic feasibility demonstrated that these interventions not only contribute to environmental sustainability, but also present positive financial returns. As the main product of the work, there is an accredited methodological framework that can be replicated in other UNICAMP buildings, as well as an indication of alternatives for optimizing hydroenergy and environmental comfort for the NIPE/UNICAMP building.

**KEYWORDS:** Sustainable building. Hydroenergy efficiency. Sustainable consumption.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Relatório Síntese (SYR) concluiu o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) onde mais de 800 cientistas do mundo inteiro, afirmam que nas próximas décadas será inevitável o aumento da temperatura média global em 1,5°C.

As tendências e cenários identificados pelos cientistas indicam que, com o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera e incrementos na temperatura média do planeta, eventos extremos devem acontecer com mais frequência e intensidade (IPCC, 2024). Isso se dá, em grande medida, pelas ações de exploração desenfreada dos recursos naturais (Pereda, 2024) (Loeb, 2022). Logo, são necessárias medidas sustentáveis para um mundo socioambiental equilibrado (Acosta, 2019).

Diante deste quadro, a Organização das Nações Unidas (ONU) propôs, na Agenda 2030, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que desdobram em 169 metas e 231 indicadores, sendo considerado o acordo mais ambicioso para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2024).

Entre os objetivos da ODS, destacam-se o objetivo 6 que está relacionado a melhoria da qualidade da água e o consumo consciente; e o objetivo 7 que busca garantir o acesso universal a serviços energéticos acessíveis, confiáveis e modernos, aumentar a proporção de energia renovável, facilitar o acesso à pesquisa e a tecnologia relativas à energia limpa (ONU, 2024).

## 2 | METODOLOGIA

Metodologicamente este trabalho baseia-se em levantamentos dos consumos de energia elétrica e água da edificação NIPE. A principal fonte de dados foi o banco de dados de publicações ISI Web of Knowledge, denominado *Web of Science*, acessado por meio do periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

(www.periodicos.capes.gov.br), a partir de palavras chave. Analisa-se a evolução do estado da arte de edificações embarcadas com tecnologias performantes para a conservação de energia e hídrica e conforto ambiental.

### 3 | OBJETIVO GERAL

O objetivo geral foi o de analisar o consumo hídrico e energético da edificação NIPE/UNICAMP atual, de modo a propor um *retrofit* sob o conceito *Green Building* quantificando os potenciais ganhos de implementação de ações de eficiência energética e hídrica e, o conforto ambiental nos sistemas de iluminação e ar condicionado. Desta forma, avaliou-se as possibilidades de medidas passivas de ventilação e iluminação, iluminação com lâmpadas LED e a utilização de equipamentos performantes, visando minimizar o consumo de água e aquecimento/ventilação/ar-condicionado, bem como quantificar a contribuição energética do Sistema Fotovoltaico instalado na edificação NIPE/UNICAMP no total do consumo de energia elétrica.

#### 3.1 Fundamentação teórica

Com base na Conferência das Partes 28 (COP 28) verifica-se que mais de duas dezenas de países aderiram à parceria *Buildings Breakthrough* lançada na COP 28 (GlobalABC, 2024). O Buildings Breakthrough é um compromisso dos países para estabelecer metas de zero emissões líquidas e de resiliência para edifícios. A iniciativa abrange tanto novas construções como grandes projetos de *retrofit*.

Entre as medidas que podem tornar o edifício mais sustentável, são conhecidas as estratégias ativas e passivas. As estratégias ativas são aquelas que envolvem o consumo de energia para atender às necessidades humanas, como a eletricidade e o gás natural, enquanto estratégias passivas estão associadas ao aproveitamento de recursos naturais, sem convertê-los primeiro em energia elétrica, para manter as edificações em condições adequadas à ocupação humana (Nguyen et al., 2017).

### 4 | PREMISSAS E DISCUSSÕES: ESTUDO DE CASO EDIFICAÇÃO NIPE

O Núcleo de Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da UNICAMP, possui 3 pavimentos, compostos por 6 banheiros, 1 copa, 1 sala de conferência e 16 salas e corredores entre os ambientes. O NIPE funciona das 8:00 às 17:00 de segunda a sexta-feira. Possui na cobertura do edifício um conjunto de placas fotovoltaicas. A Figura 1 mostra a edificação NIPE, local que alunos fizeram o estudo de caso.



**Figura 1:** Edificação NIPE/UNICAMP

#### 4.1 Levantamento de Dados da Edificação NIPE

A Tabela 1 mostra a quantidade de equipamentos da edificação NIPE.

Tipo	Quantidade
Impressoras	11
Computadores	24
Monitores	9
Ares-condicionados	17
Iluminação (Lâmpadas)	344
Outros (geladeira, chuveiro, etc.)	7

**Tabela 1:** Tipo e Quantificação dos Equipamentos

Baseado nos dias e horários de funcionamento do NIPE e na atividade dos usuários do edifício, foi estimado o tempo de utilização de cada equipamento diariamente como mostrado na tabela 2.

Estimativa do tempo de consumo por dia		
Aparelho	tempo (horas)	Obs.
Ares- Condicionados, Iluminação das salas e Purificador (Outros)	8	Aparelhos que necessitam permanecer ligados ao longo do dia
Iluminação dos corredores	4	Utilizados na metade do período, devido à iluminação natural proporcionada pela abertura na cobertura do edifício no período diurno
Iluminação dos banheiros	3,3	Utilização em média 10 minutos por dia para cada pessoa, considerando um total de 20 pessoas que trabalham no edifício
Computadores e monitores	6	Utilização em média 6 hrs por dia considerando que os usuários saem para almoço, reuniões, e realizam outras atividades.
Impressoras (Stand by)	8	Considerando apenas o tempo de consumo em stand by
Cameras, microfones, projetores, televisão, etc(sala 23 e sala 58)	4	Suposição 4 horas por dia
Microondas e máquina de café	0,17	Utilização de 30s por pessoa, considerando 20 pessoas que trabalham no edifício temos um tempo de 10 minutos por dia
Climatizador e aquecedor	0	Como o climatizador e o aquecedor nunca são utilizados em conjunto com o ar-condicionado, desconsideramos seu consumo visto que o ar-condicionado possui um tempo de consumo muito superior a estes aparelhos.
Impressora de etiquetas, caixa de som ambiente (sala 53)	0	São aparelhos que quase nunca utilizados
Chuveiro	0,25	Foi considerado o uso por 15 minutos por dia, visto que somente o funcionário responsável pela limpeza edifício utiliza

**Tabela 2:** Estimativa de consumo diário por aparelho

## 4.2 Substituição das Luminárias

Para a otimização do sistema de iluminação da edificação foi utilizado o software livre Dialux que prioriza o uso de instalações de iluminação com melhor desempenho energético, aliado ao conforto lumínico do usuário. Os dados de entrada no Dialux foram a geometria de cada ambiente, a cor das paredes, tetos e chão, o tipo de luminária e sua quantidade e alturas das mesas de trabalho.

Desta forma, o software seleciona as luminárias com maior desempenho técnico e atendendo os parâmetros de iluminância e uniformidade estabelecidos conforme a norma NBR 5413/1992 (Tabela 3).

A Tabela 4 mostra as luminárias adotadas a partir das saídas do Dialux.

Parâmetros mínimos estabelecidos		
Ambiente	Iluminância (lux)	Uniformidade
Copa	150	0,7
Banheiro	100	0,7
Escritório/ sala de reuniões	500	0,7

**Tabela 3:** Parâmetros mínimos estabelecidos

Fonte: NBR 5413/1992

### 4.3 Equipamentos de Ar Condicionado

As potências dos equipamentos foram levantadas a partir das placas do equipamentos e/ou catálogos e/ou estimativas do tipo de ambiente em que estão instalados.

Ambiente	Banheiros	Escritório e Copa	Sala de reuniões
Tipo	LED	LED	LED
Potência (W)	6	18	36
Fluxo luminoso (lm)	400	1300	3600
Temperatura de cor (K)	4000	4000	4000

Tabela 4: Luminárias adotadas

### 4.4 Estimativa de Consumo de Água

Por meio do relatório anual da Divisão de Água e Energia (DAE) da Unicamp (Tabela 5) e Sanasa/Ares-PCJ (Tabela 6), foi possível determinar o custo de R\$ 102,45 por m<sup>3</sup> de água no NIPE no ano de 2023.

O consumo médio de vasos sanitários é 12 L/descarga, torneiras de 0,23 L/seg e o consumo de chuveiros em 15 minutos com o registro meio aberto, são gastos 45 litros (SABESP, 2023). Para o estudo de caso Edificação NIPE foi estimado que em média, acontecem 600 descargas/mês. Com relação às torneiras, em média uma pessoa utiliza durante 20 segundos, multiplicando pelo número de pessoas e de dias, temos uma média de 135 mim de uso por mês. No caso do chuveiro, supondo-se que uma pessoa utiliza o chuveiro em média 15 minutos por dia, temos que ao final do mês essa pessoa terá utilizado o chuveiro por 300 minutos. Chuveiros tem uma vazão volumétrica de 9 L/minuto (SABESP, 2023).



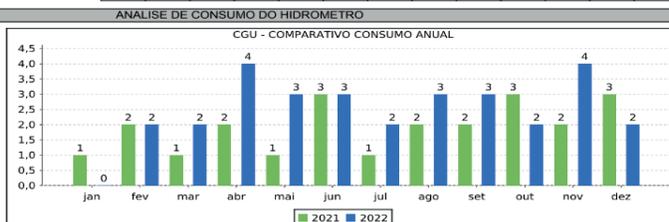
Universidade Estadual de Campinas  
Diretoria Executiva de Administração  
Prefeitura da Cidade Universitária "Zelmaro Vaz"  
DIVISÃO DE SISTEMAS

#### Relatório de Consumo Completo

CODIGO C.O.: 4253 UNIDADE: CGU - COORDENADORIA GERAL DA UNIVERSIDADE  
HIDROMETRO: H32-02 - Chassi 278827 - LOCALIZAÇÃO: NIPE  
MÊS REFERÊNCIA: dezembro/2022

TOTAL CONSUMO  
MÊS (M3): 2

HISTÓRICO DE CONSUMOS												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2021	1	2	1	2	1	3	1	2	2	3	2	3
2022	0	2	2	4	3	3	2	3	3	2	4	2



Parabéns pela redução de consumo. Continue assim!

Tabela 5: Relatório de consumo de água - NIPE

Fonte: A Divisão de Água e Energia – DAE, Prefeitura/Unicamp

Faixa de consumo	Água tratada em 2022	Água tratada em 2023	Coleta de esgoto em 2022	Coleta de esgoto em 2023	Tratamento de esgoto em 2022	Tratamento em 2023
0 até 10 m <sup>3</sup> por mês	R\$ 42,13	R\$ 45,94	R\$ 33,70	R\$ 36,75	R\$ 18,12	R\$ 19,76

**Tabela 6:** Aumento na tarifa de água em Campinas

Fonte: Sanasa/Ares-PCJ

A Tabela 7 mostra a quantidade de equipamentos hídricos na edificação NIPE.

#### 4.5 Eficiência Hídrica na Edificação NIPE

Nos vasos sanitários foi estudada a viabilidade de implementar equipamentos mais modernos, com volume de descarga reduzido (VDR), em conjunto com os chamados mecanismos duplos que são um sistema fracionado e que oferece ao usuário a possibilidade de dar uma descarga parcial de 3 litros (ideal para limpar o vaso de resíduos líquidos), ou uma descarga total, de 6 litros (ideal para resíduos sólidos). Este sistema oferece em média uma economia de 50% no gasto de água (SABESP, 2023).

Quantidade de equipamentos hídricos	
Tipo	Quantidade
Vasos sanitários	6
Torneiras	12
Chuveiro	1

**Tabela 7:** Quantidade de equipamentos hídricos

Com relação às torneiras das pias, foi estudado os sistemas de arejador que é uma peça que pode ser acoplada nas torneiras e que mistura o ar à água, ajudando a diminuir o seu fluxo ao mesmo tempo que permite a sensação de maior volume de água e direcionamento do jato, chegando a oferecer uma economia de 57% no consumo de água (DAEV, 2024). No caso dos chuveiros existem equipamentos capazes de misturar água com ar fornecendo uma economia de água com relação aos modelos tradicionais. Para a edificação NIPE, foi estimado um chuveiro de 9 L/minuto e a vazão média dos chuveiros capaz de misturar água com ar é de 6 L/minuto, levando a uma economia hídrica de 33,33% (Leite, 2024).

## 5 | RESULTADOS E CONCLUSÕES

As propostas de intervenções foram realizadas obedecendo a viabilidade técnica-econômica, visando garantir que os equipamentos a serem substituídos possuam desempenho satisfatório com relação à eficiência hidroenergética e sem prejuízo no desempenho do conforto dos usuários da edificação NIPE.

A partir dos conceitos de engenharia econômica Valor Presente Líquido (VPL) Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL), Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Souza e Clemente, 2004), Payback e a utilização do Microsoft Excel, realiza-se o estudo de viabilidade econômica (EVE). Para que o projeto proposto seja viável, o VPL deve ser maior que 0, o TIR superior ao TMA, e o IL maior que 1.

## 5.1 Consumo de Energia Elétrica

A partir das estimativas do tempo de consumo diário e das potências dos equipamentos, foi possível obter o consumo de energia elétrica (Tabela 8).

IMPRESSORAS		
	QUANTIDADE	Consumo (kWh)
Térreo	4	15,84
1º Andar	5	14,768
2º Andar	2	6,88
	Qtd total	Consumo total (kWh)
	11	37,488
COMPUTADORES		
	QUANTIDADE	Consumo (kWh)
Térreo	8	289,8
1º Andar	9	338,88
2º Andar	7	264,6
	Qtd total	Consumo total (kWh)
	24	893,28
MONITOR		
	QUANTIDADE	Consumo (kWh)
Térreo	9	19,4328
1º Andar	6	33,2688
2º Andar	9	22,0488
	Qtd total	Consumo total (kWh)
	24	74,7504
ARES-CONDICIONADOS		
	QUANTIDADE	Consumo (kWh)
Térreo	6	1981,6
1º Andar	6	1979,84
2º Andar	5	1455,68
	Qtd total	Consumo total (kWh)
	17	5417,12
ILUMINAÇÃO		
	QUANTIDADE	Consumo (kWh)
Térreo	122	513,28
1º Andar	126	541,12
2º Andar	96	358,08
	Qtd total	Consumo total (kWh)
	344	1412,48
OUTROS		
	QUANTIDADE	Consumo (kWh)
Térreo	-	121,5250667
1º Andar	4	127,44
2º Andar	3	36,78
	Qtd total	Consumo total (kWh)
	7	285,7450667

**Tabela 8:** Consumo de cada equipamento por andar

Fazendo a somatória, tem-se o valor total do consumo energético de todos os equipamentos elétricos da edificação NIPE: 8120,86 kWh.

## 5.2 Energia elétrica fotovoltaica gerada e consumo mensal da edificação NIPE

A Tabela 9, fornece os quantitativos mensais dos anos de 2022 e 2023 até agosto de geração fotovoltaica.

A energia média gerada mensalmente pelos painéis fotovoltaicos é de 755,28 kWh, isso representa menos que 10% do que é consumido pela edificação NIPE que é em média de 8120,86 kWh.

Portanto, a energia elétrica obtida junto a concessionária CPFL que é de 7365,48 kWh. A partir dessa análise, é constatado a necessidade de haver medidas que diminuam a demanda energética através da substituição por equipamentos elétricos mais eficientes.

Energia gerada pelos painéis fotovoltaicos do NIPE (kWh)		
Mês	Ano	
	2022	2023
Janeiro	756,26	734,73
Fevereiro	798,15	507,37
Março	883,84	881,47
Abril	839,43	728,44
Maiο	721,68	755,38
Junho	649,41	678,19
Julho	771,35	741,95
Agosto	715,71	733,05
Setembro	672,72	
Outubro	797,12	
Novembro	857,81	
Dezembro	758,54	
Geracao média mensal (kWh)	755,38	

**Tabela 9:** Energia gerada pelos painéis fotovoltaicos do NIPE

A partir dos levantamentos chega-se que no consumo total de energia elétrica, tem-se uma participação dos ares condicionados de 66,7% e iluminação de 17,4%, sendo os maiores responsáveis pelo consumo de energia elétrica, tornando-os alvos para a solução proposta no estudo de caso.

## 6 | EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA

### 6.1 Sistema de Iluminação

O consumo devido a iluminação com a troca de luminárias reduziu para quase um terço do valor anterior (1412,48 kWh), atingindo 523,20 kWh. Além disso, em termos econômicos, devido a redução do consumo, gerou-se uma economia anual de R\$3.521,55 (tabela 10) parâmetro que foi analisado no EVE.

Análise dos resultados - Iluminação			
Inicialmente		Após intervenção	
CONSUMO TOTAL (kWh)	1412,48	CONSUMO TOTAL (kWh)	523,20
Tarifa média CPFL R\$ (kWh)	R\$ 0,33	Tarifa média CPFL R\$ (kWh)	R\$ 0,33
Gasto Mensal R\$	R\$ 466,12	Gasto Mensal R\$	R\$ 172,66
Gasto Anual R\$	R\$ 5.593,42	Gasto Anual R\$	R\$ 2.071,87
Economia mensal (R\$)	R\$ 293,46		
Economia anual (R\$)	R\$ 3.521,55		

**Tabela 10:** Economia gerada pela troca das luminárias

## 6.2 Sistema de Ar Condicionado

O consumo associado com os equipamentos de ares condicionados (4684 kWh) mensal, sendo o anterior de (5417.12 kWh), uma redução de (733.12 kWh), resulta em uma economia de R\$2.903,00 anual. Conforme os dados coletados em campo e nas estimativas feitas, chegou-se em uma média mensal para o consumo de água nos equipamentos, sendo vasos sanitários 7200 l, torneiras das pias 1863 l e chuveiro 2700, atingindo um total de 11.763 l. Aplicando as substituições mencionadas pode-se obter mudanças significativas no consumo de água, como demonstra a tabela 11, onde pode-se observar que houve uma redução de 47,2% no consumo total de água.

VAZOS SANITARIOS				
	QUANTIDADE	COMSUMO(L/descarga)	DESCARGAS	CONSUMO (Litros)
Após melhoria	6	6	600	3600
Antes	6	12	600	7200

TORNEIRAS DAS PIAS				
	QUANTIDADE	COMSUMO(L/seg)	TEMPO USO (minutos)	Consumo total (Litros)
Antes	12	0,23	135	1863
Após melhoria	12	0,10	135	810

CHUVEIRO				
	QUANTIDADE	COMSUMO(L/min)	TEMPO USO (minutos)	Consumo (Litros)
Antes	1	9	300	2700
Após melhoria	1	6	300	1800

**Tabela 11:** Comparação de antes e após a substituição de equipamentos hídricos

Com essa diminuição no consumo de água, e levando em consideração o valor do m<sup>3</sup> de água, tem-se uma economia de R\$568,90 mensal.

## 7 | ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA (EVE)

### 7.1 Sistema de Iluminação

A partir dos modelos de luminárias selecionadas para substituição foi estimado o custo através do EVE (tabela 12).

Custa da substituição das luminárias				
	Modelo	Preço unitário	Quantidade	Custo
1	LUMIN LED EMB RED 18W BIV 4000K 1300LM	R\$ 56,32	115	R\$ 6.476,80
2	Lum Led Painei 36W 4000K Embutir	R\$ 113,04	12	R\$ 1.356,48
3	LUMIN LED EMB RED 6W BIV 4000K 400LM	R\$ 164,34	12	R\$ 1.972,08
Custo total				R\$ 9.805,36

**Tabela 12:** Custo da substituição das luminárias

O custo total foi de R\$9.805,36, sendo considerado como o investimento inicial do projeto de eficiência hidroenergética. Considerando a economia anual de R\$3.521,55, como o fluxo de caixa em um período de 10 anos, tem-se os seguintes indicadores econômicos (Tabela 13).

A partir da análise dos indicadores, a Taxa Interna de Retorno de 34% supera a Taxa Mínima de Atratividade estabelecida de 11,75 %, a taxa de lucratividade (2,21) maior que 1 e o VPL maior que 0, torna o projeto viável do ponto de vista financeiro. Além disso, tem-se um tempo de retorno financeiro a partir de 3 anos e 5 meses aproximadamente. Tendo em vista que as luminárias podem durar até 50.000 horas. Logo, considerando o horário de funcionamento do edifício de 8 horas diárias, a durabilidade seria de 17 anos. Isso indica um payback adequado ao tempo de durabilidade das luminárias.

Soma VPs	R\$ 21.638,39
VPL do Projeto	R\$ 11.833,03
Taxa Interna do Retorno (TIR)	34%
Taxa de lucratividade	2,21
Tempo de Payback	3,44

**Tabela 13:** Indicadores de Viabilidade do Projeto

## 7.2 Sistema de Ar Condicionado

Com relação ao tempo de retorno, pode-se observar que com um investimento inicial em equipamentos de menor custo tem-se um retorno do investimento em 12 anos. Sendo 3 anos de diferença se comparado com os de maior custo (Tabela 14).

Investimento	(R\$)	Payback (Anos)
Cenário 1 *	44677,85	15
Cenário 2 **	33893,59	12

\* Equipamentos de maior custo

\*\* Equipamentos de menor custo

**Tabela 14:** Payback entre equipamentos de ar-condicionado de maior e menor custo.

## 7.3 Sistema Hídrico

Após compilação dos dados dos custos dos equipamentos para substituição (Tabela 15), pode-se calcular o valor do investimento inicial, que é de R\$ 3.439,87.

Equipamento	Preço unitário	Quantidade	Custo
Bacia Com Caixa Acoplada Ecoflush 3/6 Lts P	407,47	6	2444,82
Torneira Lavatório Banheiro MONO Cromada Abre e Fecha Rápido ABS	35,34	12	424,08
Chuveiro Technoshower com Desviador Cromado Docol	570,97	1	570,97
		Custo total	3439,87

**Tabela 15:** Custos dos equipamentos para substituição

Os Paybacks do investimento inicial para os vasos sanitários, torneiras de pias e chuveiro, foram respectivamente 6,63; 3,93 e 9,00 anos.

A tabela 16 mostra a economia total gerada pela substituição dos equipamentos hídricos equipamento, gerando uma economia de R\$6.826,86 por ano

ECONOMIA TOTAL (REAIS)		
EQUIPAMENTOS	POR MES	POR ANO
VAZOS SANITARIOS	368,82	4.425,84
TORNEIRAS	107,88	1.294,56
CHUVEIRO	92,21	1.106,46
<b>TOTAL</b>	<b>568,90</b>	<b>6.826,86</b>

**Tabela 16:** Economia das trocas equipamentos hídricos

## 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, diante dos resultados obtidos nas análises do consumo de energia elétrica e água no edifício do NIPE, bem como as propostas de intervenção para o conforto térmico, pode-se inferir que a implementação de estratégias ativas e passivas para a melhoria da eficiência energética e hídrica da edificação esta aderente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2030 da ONU. O sistema de ar condicionado e iluminação são os maiores consumidores da edificação. As estratégias passivas e ativas adotadas para a redução do consumo de água, como a substituição de equipamentos hídricos por versões mais modernas e eficientes, demonstraram uma redução significativa no consumo total de água no edifício.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte da infraestrutura e equipamentos do NIPE/ UNICAMP e aos alunos bolsistas PRP/UNICAMP SAE-BAS: Ruan Castro, José Cedeno, Gabriel Flórido, Suelen Da Silva Dias, Nilton Cunha, Marcos Henrique Souza de Sá.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, D. El cambio climático y el Antropoceno: nuevo contexto del diseño. Faculade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Central de Venezuela, Venezuela, 2019.

DAE, Divisão de Água e Energia (DAE) da Unicamp, Relatórios Mensais de consumo de água e energia 2022 e 2023.

DAEV-Departamento de Águas e Esgotos de Valinhos. DAEV alerta população para que evite o desperdício do recurso e orienta a adoção de medidas que promovam a economia de água. 17 Ago. 2021. disponível em : <<https://www.daev.org.br/noticias/materias/uso-do-arejador-ou-do-redutor-de-vazao-pode-gerar-economia-de-mais-de-50-de-agua-na-torneira-da-sua-casa#:~:text=O%20arejador%20%C3%A9%20uma%20pe%C3%A7a,%C3%A9%20para%20lavar%20a%20lou%C3%A7a>>. Acesso: 26 jan. 2024.

GlobalABC - Global Alliance for Building and Construction. 2020 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. 2020. disponível em:<[https://www.google.com/url?q=https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%2520Buildings%2520GSR\\_FULL%2520REPORT.pdf&sa=D&source=docs&ust=1706285650722401&usg=AOvVaw343U3BtdHz4yg41uzM1FPB](https://www.google.com/url?q=https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%2520Buildings%2520GSR_FULL%2520REPORT.pdf&sa=D&source=docs&ust=1706285650722401&usg=AOvVaw343U3BtdHz4yg41uzM1FPB)> Acesso: 19 jan. 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report, disponível em:<[https://www.google.com/url?q=https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_FullVolume.pdf&sa=D&source=docs&ust=1706285650774294&usg=AOvVaw3kKxcaYVczopI2MCRk40FC](https://www.google.com/url?q=https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf&sa=D&source=docs&ust=1706285650774294&usg=AOvVaw3kKxcaYVczopI2MCRk40FC)>. Acesso: 19 jan. 2024.

LEITE, Isabela. Como economizar com chuveiros que misturam ar no jato de água. 19 Nov. 2014, disponível em : <https://g1.globo.com/sao-paulo/blog/como-economizar-agua/post/como-economizar-com-chuveiros-que-misturam-ar-no-jato-de-agua-veja-video.html>. Acesso: 26 jan.2024.

LOEB, R. M. Arquitetura como protagonista no mundo em colapso. Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 08-21, 2022. DOI 10.5935/cadernospos.v22n2p08-21.

Nguyen, PHAN ANH ; Bokel, Regina ; van den Dobbelsteen, Andy. / Refurbishing Houses to Improve Energy Efficiency-Potential in Vietnam. Proceedings of the 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive. editor / Luisa Brotas ; Susan Roaf ; Fergus Nicol. Vol. III Edinburgh: Network for Comfort and Energy Use in Buildings (NCEUB), 2017. pp. 4204-4211.

ONU- Nacoes Unidas Brasil. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. , disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso: 19 jan. 2024.

PEREDA, Cristina. Obama, uma presidência marcada pela luta contra mudanças climáticas. Washigton-DC, 13-Dez-2015 disponível em: <[https://www.google.com/url?q=https://brasil.elpais.com/brasil/2015/12/12/internacional/1449947527\\_283437.html&sa=D&source=docs&ust=1706285650769706&usg=AOvVaw1udsgHvd57SqUOEbYBP5nS](https://www.google.com/url?q=https://brasil.elpais.com/brasil/2015/12/12/internacional/1449947527_283437.html&sa=D&source=docs&ust=1706285650769706&usg=AOvVaw1udsgHvd57SqUOEbYBP5nS)>. Acesso: 19 jan. 2024.

SABESP, Relatório Mensal 3 Projeto de Pesquisa Escola Politécnica / USPxSABESP, 2023.

SANASA, Ares-PCJ, Visita Técnica em Janeiro 2024.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA** - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba (UNIUBE), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior ambas pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e especialista em Química Analítica e em Gestão da Qualidade e Produtividades, ambas pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo (FAMEESP) em 2024. Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a abril de 2022) e cursou o segundo estágio (2022- 2024) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atuou como técnico em laboratório/Química pelo Instituto Federal de Goiás (2010-2022), químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio e professor do SENAI de Minas Gerais e Goiás. Atualmente é professor de química do Colégio Militar do Tocantins em Araguaína/TO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2/UV\ C$ ,  $TiO_2/UV\ A$  e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 96 e-books e publicou 43 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente dentre outras áreas.

**A**

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 14, 25

*Agricultural residues* 37, 38

*Anaerobic digestion (AD)* 34, 38, 54

Arquitetura 1, 2, 3, 7, 10, 11, 66, 67

*Atmosphere* 37, 38

**B**

*Bioethanol* 39

*Biogenic CO<sub>2</sub>* 38

*Biological technologies* 37

*Biomass gasification* 39

Boito 6, 7

**C**

Calidad y sostenibilidad 28, 29

*Carbon cycle* 38, 40

*Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)* 37

*Carbon-neutral* 38, 40, 45

Carta de Atenas 8

Carta de Burra 6

Carta de Veneza 8

Carta do Restauro 8, 9

Compensações Financeiras 19

Concepções preservacionistas 1

Condiciones climáticas 27, 31

Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) 8

**D**

Declaração de Amsterdã 9

Desafíos agrícolas y alimentarios 33

Desarrollo sostenible 27, 30

Desenvolvimento sustentável 4, 11, 55, 56, 67

**E**

Edificações patrimoniais 1

*Electrocatalytic* 37, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51

*Emerging technologies* 45

Energia elétrica 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 24, 25, 26, 56, 57, 62, 63, 66

## F

*Fermentation* 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 53

## G

Gases de efecto invernadero 32, 34

*Greenhouse Gases* (GHGs) 37, 38

## H

História da arte 5

## I

Impactos ambientales 28

Indicadores coletivos 18

Ingeniería agroindustrial 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34

Interrupção 14, 15, 16, 17, 18

## M

Maranhão 1, 2, 26

Monumento artístico 5

Multiplexada 16, 17

## O

*Organic matter* 38, 39

## P

Patrimônio cultural edificado 1, 3, 5, 8

Procesos agroindustriales 29, 30, 33, 34, 35, 36

## Q

Qualidade da Energia Elétrica (QEE) 13, 14

## R

Recursos naturales 27, 34

Rede de Distribuição Aérea Convencional (RDAC) 16

Rede de Distribuição Compacta (RDC) 16

*Renewable energy* 38, 39, 40, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 51, 52

**S**

Seguridad alimentaria 27, 31, 32

Sistema construtivo 1, 2, 3, 4, 9

Sostenibilidad 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34

Suministro alimentario 32

**T**

*Thermocatalytic* 37, 41, 44, 45, 46, 48, 51, 53

**V**

Valor econômico 5

**W**

*Wastewater* 38, 39, 40

# ENGENHARIA EM PERSPECTIVA:

ciência, tecnologia e inovação

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA EM PERSPECTIVA:

ciência, tecnologia e inovação

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)