



# Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos  
Vol. 3

Adriano Mesquita Soares  
(Organizador)

# **Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos**

Vol. III

Adriano Mesquita Soares  
(Organizador)

## **Direção Editorial**

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## **Organizador**

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## **Capa**

AYA Editora

## **Revisão**

Os Autores

## **Executiva de Negócios**

Ana Lucia Ribeiro Soares

## **Produção Editorial**

AYA Editora

## **Imagens de Capa**

br.freepik.com

## **Área do Conhecimento**

Engenharias

# **Conselho Editorial**

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

*Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí*

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

*Centro Universitário Santa Amélia*

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

*Universidade Estadual de Londrina*

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

*Instituto Federal do Amapá*

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

*Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP*

Prof.º Me. Clécio Danilo Dias da Silva

*Centro Universitário FACEX*

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria De Genaro Chirolí

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

*Universidade Federal de Sergipe*

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

*Universidade do Estado de Minas Gerais*

Prof.ª Ma. Denise Pereira

*Faculdade Sudoeste – FASU*

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

*Universidade Federal do Paraná*

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

*Universidade Federal do Amapá*

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

*Universidade Estadual de Londrina*

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença*

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

*Universidade Federal de Sergipe*

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

*Universidade de Santa Cruz do Sul*

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

*Faculdade Santa Helena*

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

*Universidade Federal de Roraima*

Prof.º Me. Jorge Soistak

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

*Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara*

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

*Universidade Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

*Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais*

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

*Faculdade Santana*

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

*Universidade Federal Rural de Pernambuco*

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues  
*Universidade Norte do Paraná*

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa  
*Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP*

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes  
*Universidade Estadual do Centro-Oeste*

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch  
*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Me. Pedro Fauth Manhães Miranda  
*Universidade Estadual de Ponta Grossa*

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes  
*Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas*

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani  
*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira  
*Instituto Federal do Acre*

Prof.ª Ma. Rosângela de França Bail  
*Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais*

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens  
*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares  
*Universidade Federal do Piauí*

Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros  
Rodrigues  
*Faculdade Sagrada Família*

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia  
*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda  
Santos  
*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues  
*Instituto Federal de Santa Catarina*

Prof.º Dr. Valdoir Pedro Wathier  
*Fundo Nacional de Desenvolvimento Educacional, FNDE*

© 2022 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). As ilustrações e demais informações contidas nos capítulos deste Livro, bem como as opiniões nele emitidas são de inteira responsabilidade de seus autores e não representam necessariamente a opinião desta editora.

---

T757 Tópicos especiais em engenharia inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2022. 224 p.

v.3

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-122-0

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia eletrônica. 3. Engenharia elétrica. 4. Células solares. 5. Células fotoelétricas. 6. Gestão ambiental. 7. Administração de regiões metropolitanas. 8. Grafita. I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 620.007

---

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

---

**International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora EIRELI**

**AYA Editora©**

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

# SUMÁRIO

**Apresentação.....11**

**01**

**Estudo da geração de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos em fazendas solares .....12**

Pedro Gama Bastos  
Joarez da Silva Ladeira Neto  
Rafael Lima de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.1

**02**

**Análise da eficiência energética e adequação luminotécnica da empresa Assistec .....25**

Rafael Lima de Oliveira  
Matheus Bui de Oliveira  
Rodrigo Silveira Ribeiro  
Amanda Camerini Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.2

**03**

**Análise de desempenho de geração fotovoltaica: estudo de caso.....42**

Isadora Gonçalves Alexandre  
Nathalia Vieira Gonçalves Dias  
Victor da Silva Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.3

**04**

**Analizador de energia elétrica .....57**

Leonardo Filipe Serafim  
Gabriel Farias Grumiche

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.4

# 05

## **A fruticultura brasileira frente ao comercio internacional .....64**

Laysa Lorena Silva de Santana  
Leticia Santana Guimarães  
Lívia Carla Portugal dos Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.5

# 06

## **Influência da variação granulométrica do agregado miúdo na aderência do chapisco ....72**

Andrés Luis Muller Wammes  
Eduardo Damim

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.6

# 07

## **Análise do desempenho do resíduo de construção e demolição - RCD estabilizado quimicamente na pavimentação .....89**

Paula da Silva Barboza  
Eduardo Damin

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.7

# 08

## **Estudo comparativo entre concreto protendido e concreto armado em diferentes modelos estruturais para uma mesma edificação.....109**

Nícollas Braga De Souza  
Thiago de Freitas Pimenta  
Arthur Almeida Tavares

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.8

# 09

## **Análise experimental de vigas compostas de madeira laminada pregada e laminada colada ....** .....126

Nícolas Raniéri Grasseli  
Carlos William de Almeida Rezende

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.9

# 10

## **Avaliação das propriedades mecânicas de composições asfálticas à quente produzidas com grafite comercial .....**138

Alex Gomes Pereira  
Gessica Stefany Alves Setúbal  
Lucas Henrique Furtado Bonfim Gerhardt  
Luis Filipe da Silva Quelhas  
Jacson do Nascimento Paiva  
Sara Braselino de Melo  
Marco Antônio Silveira de Medeiros Junior  
Luis Henrique Ferreira e Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.10

# 11

## **Segurança do trabalho na construção civil: uma revisão bibliográfica .....**150

Alex Gomes Pereira  
Diego Melo Guimaraes  
Kauê Rodrigues da Motta  
João Vitor Ebeling de Oliveira  
Eduardo Rosa Tiburcio Pinheiro  
Eduardo da Silva Ramos  
Antônio Gabriel Farias Goudim  
David Alan Taufmann Ferreira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.11

# 12

## **Análise das propriedades físicas têxteis e alteração dimensional em malhas de algodão e elastano.....156**

Fabia Regina Gomes Ribeiro  
Gabriele Kyoko Takahashi de Oliveira  
Leandro da Silva Pereira  
Patricia Mellero Machado Cardoso

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.12

# 13

## **Sistema de visão computacional para esteira transportadora.....170**

Sergio Augusto Bitencourt Petrovcic  
Bernardo Santiago de Souza  
Vinicius Amandio dos Santos Couto

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.13

# 14

## **Protótipo de braço hidráulico demonstração do princípio de Pascal.....182**

Euler da Silva Bernardes  
Gabriel Ferreira da Silva Pascoal  
Thiago de Freitas Pimenta  
Gabriel Pereira Gonçalves

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.14

# 15

## **Aplicação da eletrônica embarcada no suporte a vida na unidade de terapia intensiva (UTI) hospitalar .....190**

Gleiton Benedito Henrique  
Maxwell da Silva Menezes  
Rafael Lima de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.15

# 16

**Numerical simulation of Navier-Stokes equations for analysis of turbulent flow with Spalart-Allmaras model around isothermal circular cylinders in line via immersed boundary method .....200**

*Rômulo Damasclin Chaves dos Santos*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.16

**Organizador .....217**

**Índice Remissivo .....218**

# Apresentação

---

A publicação de um texto técnico ou científico é uma das formas mais utilizadas para transmitir à comunidade o conhecimento adquirido durante o desenvolvimento de um projeto ou de uma pesquisa. O compartilhamento de conhecimento promove o acelerado desenvolvimento da sociedade, além de um crescimento pessoal e profissional através das trocas de aprendizados.

Portanto, neste livro intitulado “**Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. III**” são compartilhados conhecimentos interdisciplinares adquiridos por cada autor durante o desenvolvimento de seus estudos. A abrangência deste volume envolve diversos temas voltados as engenharias, onde os pesquisadores apresentam os resultados obtidos através da aplicação de diferentes técnicas e tecnologias.

A fim de proporcionar uma experiência de leitura agradável, esta obra encontra-se organizada em dezesseis (16) capítulos abordando diversas temáticas e discussões, demonstrando a evolução proporcionada através do compartilhamento do conhecimento técnico e científico nas áreas da engenharia. Os estudos abordam discussões como: geração de energia elétrica; eficiência energética; desempenho de geração fotovoltaica; analisador de energia elétrica; fruticultura brasileira; variação granulométrica do agregado miúdo; desempenho do resíduo de construção e demolição; comparativo entre concreto protendido e concreto armado; vigas compostas de madeira laminada pregada e laminada colada; propriedades mecânicas de composições asfálticas; segurança do trabalho na construção civil; propriedades físicas têxteis; visão computacional para esteira transportadora; protótipo de braço hidráulico; aplicação da eletrônica embarcada no suporte a vida na unidade de terapia intensiva (UTI) hospitalar, e por fim, um estudo sobre numerical simulation of Navier-Stokes equations for analysis of turbulent flow with Spalart-Allmaras model around isothermal circular cylinders in line via immersed boundary method.

Espero que através deste livro você possa aprender novas técnicas e tecnologias para seu desenvolvimento pessoal e profissional e que também promova o compartilhamento destes conhecimentos com todos ao seu redor, impulsionando assim o desenvolvimento de nossa sociedade.

Boa leitura!

**Prof.º Dr.º Adriano Mesquita Soares**  
(Editor Chefe)



**Estudo da geração de energia elétrica  
utilizando painéis fotovoltaicos em  
fazendas solares**

**Study of electric energy generation  
using photovoltaic panels in solar  
farms**

---

Pedro Gama Bastos

*Graduando em Engenharia Elétrica*

Joarez da Silva Ladeira Neto

*Graduando em Engenharia Elétrica*

Rafael Lima de Oliveira

*Mestre em Engenharia Elétrica*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.1

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a forma que as fazendas solares estão inseridas no cenário energético atual e como elas funcionam no âmbito nacional, visando um estudo detalhado sobre a matriz energética do Brasil e como as fazendas solares, que utiliza a energia solar para gerar sua energia, está inserida nela. Revelando ser uma fonte bastante promissora, a energia solar fotovoltaica, tanto para as áreas distantes e ainda não eletrificadas, como também para os grandes centros urbanos, onde demandas elevam as curvas maiores de carga, apresentando um excelente sincronismo com a geração solar. As fazendas solares surgem como solução para os consumidores que não tem espaço para instalação de painéis fotovoltaicos ou permitem que os consumidores economizem energia sem ter a obrigação de investir em um sistema de geração próprio, toda energia gerada na fazenda solar é transmitida para rede pública de distribuição que vai minutar a energia transmitida e transformar em créditos. Desde o momento que se inicia a geração de energia, o consumidor consegue pegar cotas da fazenda, no final do mês a distribuidora calcula a diferença entre o consumo e os créditos que aquele consumidor possui gerando assim economia no valor pago mensalmente com energia.

**Palavras-chave:** eficiência energética. fazendas solares. energia fotovoltaica.

## ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the way that solar farms are inserted in the current energy scenario and how they work at the national level, aiming at a detailed study of Brazil's energy matrix and how solar farms, which use solar energy to generate their energy, are part of it. Revealing to be a very promising source, photovoltaic solar energy, both for distant and not yet electrified areas, as well as for large urban centers, where demands raise the largest load curves, presenting excellent synchronism with solar generation. Solar farms emerge as a solution for consumers who do not have space to install photovoltaic panels or allow consumers to save energy without having to invest in their own generation system, all energy generated in the solar farm is transmitted to the public grid of distribution that will minute the transmitted energy and transform it into credits. From the moment the energy generation starts, the consumer is able to collect quotas from the farm, at the end of the month the distributor calculates the difference between consumption and the credits that consumer has, thus generating savings in the amount paid monthly with energy.

**Keywords:** energy efficiency. solar farms. photovoltaics.

## INTRODUÇÃO

Tendo como base o ano de 2020, a matriz energética Brasileira é composta por fontes renováveis: biomassa de cana (19,1%), hidráulica (12,6%), lenha e carvão vegetal (8,9%) e outras renováveis (7,7%). Já as não renováveis são petróleo e derivados (33,1%), gás natural (11,8%), carvão mineral (4,9%), urânio (1,3%) e outras (0,6%). Isso mostra que a matriz energética brasileira é bastante diversificada e a presença de fontes energéticas renováveis tem sido cada vez maior. A matriz atual é formada por 48,4% de fontes renováveis e 51,6% não renováveis. Já a matriz elétrica é bem mais limpa, com 82,9% da energia elétrica oriunda de fontes renováveis.

Neste caso, a maior participação vem das hidrelétricas, com 65,2%, seguida pela biomassa (9,1%) e eólica (8,8%). A energia solar representa 1,7%. (EPE,2021). Conforme ilustra a Figura 1, destaca-se as principais fontes de energias renováveis e não renováveis ofertadas no nosso cenário energético e na Figura 2 é feita uma comparação em relação ao ano de 2019:

**Figura 1 – Repartição da Oferta Interna de Energia (OIE) 2022**



**Figura 2 – Oferta Interna de Energia 2020-2019**

Fonte (Mtep)	2019	2020	Δ 20/19
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>135,6</b>	<b>139,1</b>	<b>2,5%</b>
Biomassa da cana	52,8	54,9	4,0%
Energia hidráulica¹	36,4	36,2	-0,4%
Lenha e carvão vegetal	25,7	25,7	-0,1%
Lixívia e outras renováveis	20,7	22,2	7,4%
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>158,3</b>	<b>148,5</b>	<b>-6,2%</b>
Petróleo e derivados	100,9	95,2	-5,6%
Gás natural	35,9	33,8	-5,8%
Carvão mineral	15,4	14,0	-9,1%
Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	4,3	3,7	-13,2%
Outras não renováveis	1,8	1,7	-4,9%



Fonte: BEN (2021)

A energia solar é a principal fonte de energia do planeta. A superfície terrestre recebe anualmente uma grande quantidade de energia, aproximadamente 15 x 10<sup>18</sup> kWh, podendo suprir milhares de vezes a demanda que a população necessita, se caracterizando como uma das opções mais promissoras para a geração complementar da matriz energética mundial (VERMA; MIDTGARD; SATRE, 2011).

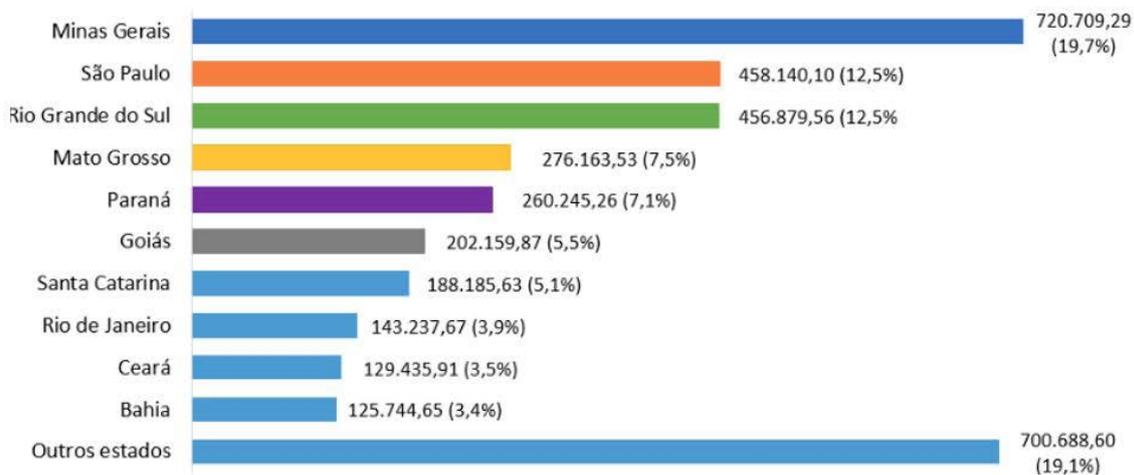
A previsão é que até 2040 a fonte de energia solar seja a mais significativa entre as energias renováveis. Existem duas formas principais de se aproveitar a energia solar, a primeira consiste na utilização de coletores solares para captar a energia na forma de geração térmica, na qual, utiliza-se o aproveitamento de energia sob forma de calor, normalmente para aquecimento de água. Já a segunda forma, a qual será aplicada a esse trabalho, faz-se uso de módulos fotovoltaicos para geração de energia elétrica, a partir do efeito fotoelétrico. Os módulos fotovoltaicos

cos possibilitam a instalação em locais remotos, onde a conexão com a rede não é possível ou economicamente inviável. (BRITO *et al.*, 2011).

Pequenos geradores solares, como a geração distribuída, podem ser confiáveis, eficientes e simples de implementar. Em algumas áreas, eles podem ser competitivos com a geração convencional e propiciar uma maior confiabilidade no abastecimento de energia, quando comparados com os sistemas convencionais de geração de energia. Em outros casos, ele pode aumentar a capacidade da rede, através da complementaridade de energia, promovendo uma maior performance e eficiência na rede. Dessa forma, a inserção da energia solar na matriz energética nacional, de forma complementar, poderia trazer grandes benefícios, tanto ao setor energético, quanto aos setores econômicos e sociais do país (SALAMONI, 2009).

Na Figura 3, podemos observar que Minas Gerais domina o ranking de Geração Distribuída instalada, o estado de Minas foi o primeiro a eliminar algumas tributações do setor e possui fatores climáticos bastante favoráveis para a geração solar fotovoltaica:

**Figura 3 - Potência Instalada da GD**



Fonte: ANNEL, 2020

Portanto, as fazendas solares são ideais para os consumidores que não podem ou não desejam instalar um sistema fotovoltaico em sua propriedade, optando por geração compartilhada. Para utilizar a energia solar fotovoltaica a partir de uma fazenda solar, basta alugar um lote de fazenda solar e consumir a energia gerada. Desta forma, sua distribuidora descontará da sua conta de luz a energia produzida por seu lote, gerando créditos energéticos suficientes para suprir o seu gasto com energia elétrica. É possível criar uma fazenda solar com um grupo de consumidores, de modo que cada um receba uma parcela da energia gerada de acordo com o investimento individual. Logo, conseguindo abranger um número ainda maior de consumidores por vez.

## Objetivos

### Geral

- Efetuar um estudo sobre fazendas solares, que utilizam a conversão direta de energia solar para energia elétrica e a sua viabilidade no nosso país. Desta forma, esse estudo mostrará o cenário da energia fotovoltaica no funcionamento das fazendas so-

lares, juntamente com os seus benefícios e dificuldades de implementá-las no Brasil.

## Específicos

- Situação do cenário da energia por meio de painel fotovoltaicos no Brasil;
- Funcionamento de uma fazenda solar, desde a criação até o contrato com o cliente;
- Análise de viabilidade econômica e do meio ambiente;
- Realizar análise da demanda;
- Como as fazendas solares se relacionam com o mercado livre de energia.

## Justificativa

Com o aumento do consumo global de energia, unido à preocupação do governo com o uso ardente de combustíveis fósseis, existe o estímulo de buscar novas fontes de energia, de preferência uma fonte limpa, economicamente e ambientalmente viável.

Com isso a tendência para inclusão de novas fontes de energias renováveis na matriz elétrica brasileira só tende a crescer, aproveitando o potencial de cada região, o Brasil pode suprir grande parte do consumo de energia do país através de matrizes elétricas mais limpas como: energia eólica, hidráulica, solar, hidrogênio e biomassa.

Sendo a fonte solar no Brasil umas das principais alternativas atualmente, por conta da sua localização geográfica e irradiação solar, fatores esses que favorecem um elevado potencial para geração de energia e também por se tratar de umas das poucas fontes de energia considerada inesgotável.

Tendo em vista todas essas vantagens empregadas à energia solar, o objetivo desse trabalho é para a ampliação do uso de energia solar através das fazendas solares, separando e popularizando o uso. Possibilitando pessoas que não possuem a oportunidade de investir em sistema fotovoltaico particular, consumir esse tipo de energia limpa.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

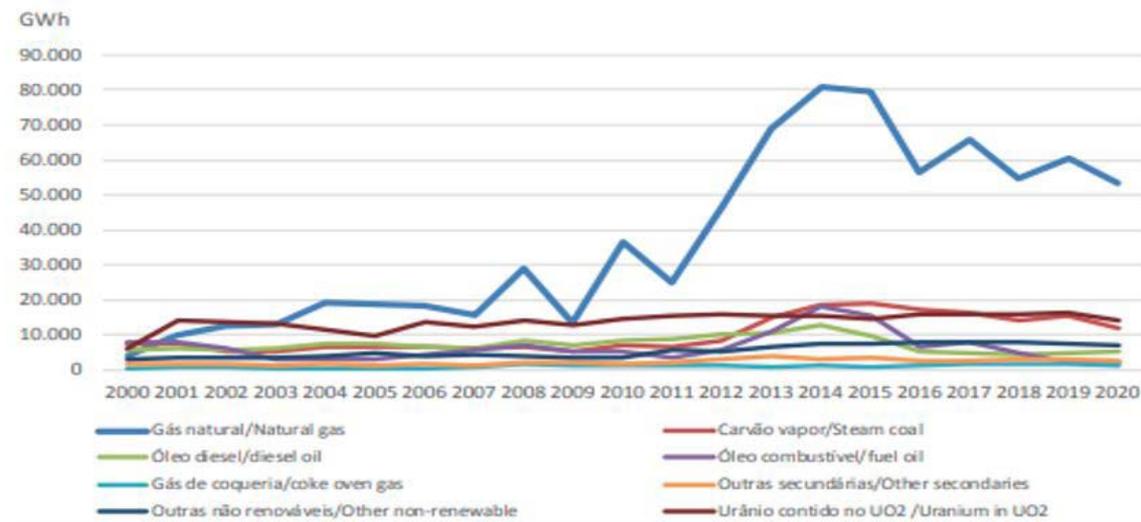
### Matriz energética brasileira

A geração da matriz energética brasileira no ano de 2020 ficou dividida da seguinte forma, as centrais elétricas de serviço público, participaram com 82,9% da geração total, a geração hídrica, principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil, reduziu -0,4% na comparação com o ano anterior, a autoprodução (APE) em 2020 participou com 17,1% do total produzido, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, atingindo um montante de 106,5 TWh, desse total, 60,7 TWh não foram injetados na rede, ou seja, produzidos e consumidos pela própria instalação geradora, usualmente denominada como APE clássica. (GESEL).

A autoprodução clássica agrega as mais diversas instalações industriais que produzem energia para consumo próprio, a exemplo dos setores de Papel e Celulose, Siderurgia, Açúcar e Alcool, Química, entre outros, além do Setor Energético. A geração elétrica a partir de não re-

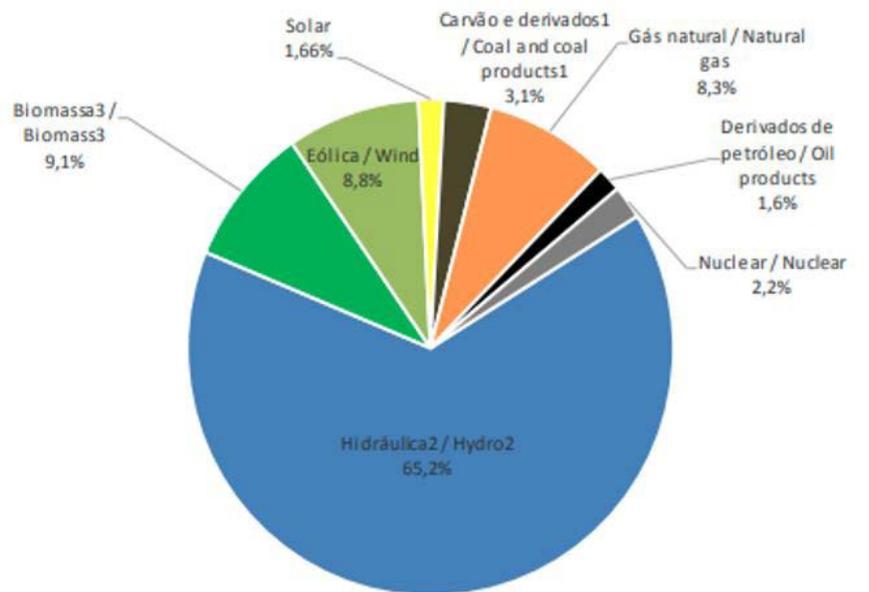
nováveis representou 15,8% do total nacional, contra 17,7% em 2019, entretanto, é importante destacar a evolução do gás natural que ao longo dos últimos dez anos ao deslocar o óleo combustível e o diesel, contribuiu para minimizar as emissões provenientes da geração de eletricidade a partir de fontes não renováveis. Importações líquidas de 24,7 TWh, somadas à geração nacional, asseguraram uma oferta interna de energia elétrica de 645,9 TWh, montante -0,8% inferior a 2019. O consumo final foi de 540,2 TWh, representando uma retração de 1,0% em comparação ao ano anterior. O gráfico a seguir apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2020. (BEN, 2020)

**Figura 4 - Geração de Energia Elétrica: Fontes não renováveis**



Fonte: BEN (Balanço Energético Nacional), 2020

**Figura 5 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte**



Fonte: BEN (Balanço Energético Nacional), 2020

O crescimento na matriz de energia limpa ajudar o Brasil a honrar o compromisso assumido na Cúpula do Clima deste ano de antecipar a neutralidade climática de 2060 para 2050. De acordo com André Osório:

Para qualquer cenário de planejamento energético realizado pelo MME, em que pese a antecipação da neutralidade climática, verifica-se que a participação das renováveis na matriz elétrica deve continuar acima de 80% até 2030, chegando a 85% em 2050. Tais resultados serão alcançados em boa medida com o aproveitamento pelo país de seus potenciais eólico, solar e de biomassa bem como em decorrência de todo esforço já estabelecido pelas políticas públicas, da mudança do perfil do consumidor brasileiro que vem buscando economicidade e aprimoramentos tecnológicos nas soluções de suprimento de energia elétrica. (OSORIO, 2021)

Entre os incentivos oferecidos pelo Governo Federal para o aumento da energia limpa está a eliminação de impostos de importação para equipamentos de energia solar, o que tem permitido o aumento da competitividade da fonte solar no Brasil, tanto para a geração centralizada como para a geração distribuída. De acordo com André Osório:

Nesse processo de expansão, o ministério não se descuidou da sustentabilidade ambiental, instituindo programas de incentivo às fontes renováveis de energia como Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) e Renovabio (Política Nacional de Biocombustíveis). (OSORIO, 2021)

A produção de energia limpa pelo Brasil é destaque entre os países que compõem os Brics (Brasil, Rússia, África do Sul, Índia e China). Um estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) aponta que a matriz energética brasileira, em 2019, foi formada por 45% de fontes renováveis e 54% de fontes fósseis. Os números superam os demais países do bloco. As fontes de energia fósseis chegam a 97% na África do Sul, 94% na Rússia, 92% na Índia e 87% na China (IPEA, 2021).

Nosso país é dotado de uma riqueza de recursos energéticos que supera muitas vezes a demanda de energia total estimada pelos próximos anos. Passaremos de uma posição de importador líquido de energia para outra realidade, a de ofertante líquido. Assim, percebemos que o nosso papel agora é de administrar a abundância de recursos energéticos. (OSORIO, 2021)

De acordo com o mesmo diretor, existe uma diversidade imensa de fontes renováveis mais tradicionais. Mas continuarão com grande participação de hidrelétricas, PCHs e de biomassa. As fontes eólicas e solar irão se expandir fortemente e ainda há fontes limpas e menos tradicionais que estão recebendo grande atenção para sua viabilização como resíduos sólidos urbanos, eólica Off-Shore e o hidrogênio.

Em 2020, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) ficou em 645,9 TWh, montante 0,8% inferior ao de 2019 (estima-se -1,2% para o mundo, 26.670 TWh). A fonte de geração solar apresentou a maior taxa de crescimento em 2020, com 61,5%, sendo que a geração distribuída já contribuiu com 45% da geração total. Na medida em que a solar aumenta a sua participação na OIEE as taxas anuais de expansão vão diminuindo, de 876% em 2017, de 316% em 2018 e de 92,2% em 2019). A supremacia da geração hidráulica continua tendo pequeno aumento na participação, de 64,9% em 2019 para 65,2% em 2020, incluindo importação. (BENTO, M. *et al.*, **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA** Azenaide Ruivo Advincola Roriz Fontes de Dados. [s.l.: s.n.]

Tabela 1- Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE)

ESPECIFICAÇÃO	GWh		20/19 %	Estrutura (%)	
	2019	2020		2019	2020
HIDRÁULICA	397.877	396.327	-0,4	61,1	61,4
BAGAÇO DE CANA	36.827	38.776	5,3	5,7	6,0
EÓLICA	55.986	57.051	1,9	8,6	8,8
SOLAR	6.655	10.750	61,5	1,0	1,7
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	18.094	19.966	10,3	2,8	3,1
ÓLEO	6.926	7.745	11,8	1,1	1,2
GÁS NATURAL	60.448	53.464	-11,6	9,3	8,3
CARVÃO	15.327	11.946	-22,1	2,4	1,8
NUCLEAR	16.129	14.053	-12,9	2,5	2,2
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	12.060	11.121	-7,8	1,9	1,7
IMPORTAÇÃO	24.957	24.718	-1,0	3,8	3,8
<b>TOTAL (c)</b>	<b>651.285</b>	<b>645.915</b>	<b>-0,8</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>540.395</i>	<i>547.587</i>	<i>1,3</i>	<i>83,0</i>	<i>84,8</i>

Fonte: (BENTO, M. et al. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA Azenaide Ruivo Advincola Roriz Fontes de Dados. [s.l: s.n.]

Em 2020, as fontes renováveis ficaram com 84,8% de participação na matriz da OIEE, indicador 1,8 ponto percentual acima do verificado em 2019. A geração eólica e por bagaço de cana, mais alta no segundo semestre de cada ano, é complementar à sazonalidade da geração hidráulica. A energia solar já ultrapassou a geração por óleo (diesel e óleo combustível). No caso do bagaço, dos 38,8 TWh gerados, 22,7 TWh foram de excedentes para o mercado e 16,1 TWh para consumo próprio. Ainda cabe mencionar o aumento de 10,3% na geração por “outras renováveis”, tendo o biogás alta de 15,7% (de 1.148 GWh em 2019 para 1.329 GWh em 2020). (BENTO, M. et al.).

## Energia fotovoltaica

Depois da energia hidráulica e eólica, a energia solar fotovoltaica é a terceira fonte renovável mais importante em nível mundial. Atualmente, o Brasil emprega a energia solar fotovoltaica, em indústrias, residências, comércio e agronegócio, além do uso de usinas geradoras de eletricidade fotovoltaica (fazendas solares). O emprego dessa energia vem desenvolvendo-se rapidamente em todo território brasileiro. Para Luis Colaferro, 2018:

O setor distribuído de energia solar 2018, como um todo, fechou o ano com 48.613 sistemas de energia solar fotovoltaica instalados, com previsão de chegar ao final de 2024 com mais de 886.700 mil sistemas instalados. (COLAFERRO, 2018)

Segundo artigo da Aneel, 2018: A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. Contudo, a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra em regiões mais distantes do Equador. Em Porto Alegre, capital brasileira mais meridional (cerca de 30° S), a duração solar do dia varia de 10 horas e 13 minutos a 13 horas e 47 minutos, aproximadamente, entre 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente.

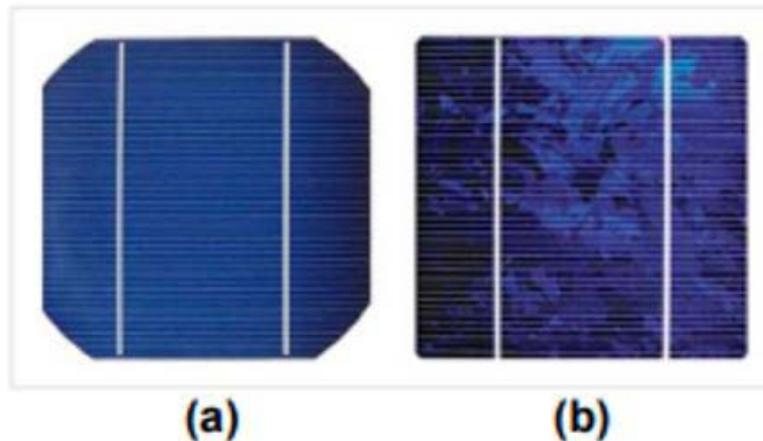
Dessa forma, para ter um grande aproveitamento dos raios solares, é preciso posicionar a placa fotovoltaica de acordo com a posição ou latitude que coincide mais com o sol. Por exemplo no Hemisfério Sul, a placa fixa deve ser posicionada para o norte. A radiação solar sobre a superfície terrestre, depende muito das condições climáticas e atmosféricas, além disso meramente uma parte da radiação alcança a superfície terrestre, pois deve-se ao

absorvimento pela atmosfera e a reflexão dos raios solares. Perante toda a potencialidade energética sustentável do Brasil, o seu aproveitamento ainda é proporcionalmente pequeno. Sobre a média anual de insolação no Brasil, compreende-se que a região nordeste tem maior insolação diária, logo após segue o centro-oeste, sudeste e sul respectivamente, e finalmente a região norte, com a menor duração horária. A energia solar térmica também é muito usada, ela é usada para aquecimento de água, e empregada principalmente em edificações domiciliares, mas também é utilizada em edifícios, hospitais, hotéis e restaurantes. Os painéis possuem a função de transportar o calor captado pela radiação solar para a água ou óleo que passa no interior das placas, para assim, poder ser utilizado como fonte de calor. (DA SILVA STAMBOROSKI, MARDER, NICOLETTI, 2019.)

## Painéis fotovoltaicos

Existem várias tecnologias para a fabricação de células fotovoltaicas e módulos fotovoltaicos. Os módulos fotovoltaicos dividem-se basicamente em módulos da 32 família do silício monocristalino (m-Si), a do silício policristalino (p-Si) e a do filme de silício (VILLALVA, 2015). Os modelos de células fotovoltaicas atuais, apresentam um índice de eficiência de 25,00%. No Brasil, a célula que apresenta a maior eficiência possui 17,30%. Atualmente, cientistas norte-americanos desenvolveram uma célula capaz de converter a luz solar direta em eletricidade com uma eficiência de aproximadamente 44,50%, tornando-se a célula mais eficiente do mundo (AMBIENTE ENERGIA, 2017). Atualmente, cientistas norte-americanos desenvolveram uma célula capaz de converter a luz solar direta em eletricidade com uma eficiência de aproximadamente 44,50%, tornando-se a célula mais eficiente do mundo (AMBIENTE ENERGIA, 2017). A seguir será apresentado algumas das características dessas diferentes tecnologias.

**Figura 6 - Painéis de Silício: (a) Monocristalino e (b) Policristalino**



Fonte: Adaptado de Solar Products Store, 2017

## Fazendas solares

De acordo com REN 482 (Resolução Normativa nº 482/2012) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), para definir um modelo de negócios incluso na legislação de Cooperativa Solar, foi utilizada a metodologia de tratar individualmente cada uma das soluções necessárias para ter um modelo completo com análise financeira ao fim. A figura 7 mostra quais são os tópicos principais que serão abordados um a um.

**Figura 7 - Metodologia De Desenvolvimento Do Modelo De Cooperativas De Energia Solar**



Fonte: O Autor, 2022

1. Consumidor: Segundo os usuários, é possível definir a potência do projeto trabalhado;
2. Solução técnica para a usina. Neste item, é iniciada a análise comparativa técnica das três soluções propostas, bem como os fatores constantes em nas três soluções;
3. Solução administrativa da cooperativa, onde aparecem todos os stakeholders do projeto durante sua fase de venda, execução e funcionamento;
4. Solução financeira da cooperativa com todos os fatores de venda e operação das usinas propostas. São utilizados valores macroeconômicos para achar os indicadores financeiros das soluções propostas.

Semelhante às cooperativas, os consórcios e seu funcionamento é fiscalizado pelo BCB (O que é administradora de Consórcio. Banco Central do Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/administradoraconsorcio>. Acesso em: 09 jun. 2022), onde são formados por um grupo de pessoas ou empresas que desejam adquirir um bem ou serviço em comum. No entanto, os consórcios são organizados por empresas, chamadas de administradoras. Nos consórcios de energia solar, o valor que deverá ser pago todos os meses está ligado diretamente à conta de energia do cliente. O proprietário do consórcio dá uma porcentagem de desconto sobre o valor da conta para o consumidor final.

Cada consórcio de energia solar tem condições específicas, por isso, é fundamental estar atento a cada detalhe. O primeiro passo é escolher uma empresa de sua confiança. Em seguida, certifique-se de que seja seguida a cartilha da Aneel, que discorre que a constituição de consórcios deve observar:

O disposto na Lei n. 6.404/76 e na Instrução Normativa da Receita Federal do Brasil nº 1.634/2016, para fins de inscrição no CNPJ; onde o consórcio tem personalidade jurídica, sendo o titular da unidade consumidora com geração distribuída. Já no disposto na Lei nº 11.795/2008, a titularidade da unidade consumidora com geração distribuída é conferida à administradora do consórcio, que deve apresentar comprovante de inscrição no CNPJ.

É importante observar que a cartilha determina que a divisão de créditos excedentes é livre. Dessa forma, todos os pormenores devem estar muito claros e em comum acordo na hora de escolher o seu consórcio.

Um consórcio pode ser solicitado por qualquer pessoa, mas o melhor caminho é entrar em contato com uma empresa fornecedora especializada, que poderá acompanhar e orientar você em todos os passos do projeto.

Para quem quer investir em um negócio rentável, o aluguel de energia solar é um modelo ideal, tanto para grandes empresas que consomem muita energia elétrica, quanto para consumidores que consomem pelo menos 10.000 kWh/mês. (MOR, MICHELE. Aluguel de Energia Solar é opção para economizar. Disponível em <https://www.diariodaregiao.com.br/economia/aluguel-de-energia-solar-e-opc-o-para-economizar-1.791050>. Acesso em: 15 jun. 2022). Em termos de economia, a aquisição de um sistema de energia solar pode gerar uma redução de custos de até 30%. O local de instalação da usina solar e radiação do sol, podem fazer com que esse número varie.

Para falar sobre o processo de aluguel de um sistema de energia solar, é importante também falar sobre a instalação do sistema fotovoltaico. Em síntese, seja em comércios, indústrias ou residências, é importante atentar-se para os cuidados desde o processo de compra até o de instalação, tendo em vista que o espaço disponível pode não ser suficiente para a boa eficiência do sistema. Sendo assim, o aluguel de um sistema de energia solar é a maneira mais indicada para resolver os problemas, como por exemplo, o local não for apropriado e precisar de adaptação, feita através de obras, em suma, esse modelo traz economia para o consumidor que não precisará gastar com questões de obras, investimentos, tecnologias e manutenções. (MOR MICHELE, 2021).

A resposta do aluguel de energia é positiva principalmente para clientes que possuem um consumo mensal de aproximadamente 10.000 kWh. Contudo, várias unidades podem dividir o consumo. Entretanto é importante ressaltar que para isso, todas as unidades devem ter a mesma titularidade, podendo ser tanto na pessoa física, quanto jurídica.

De acordo com (MOR MICHELE, 2021), quando o consumidor opta por esse investimento, é feito um contrato normal de aluguel com a empresa proprietária da usina. Esse contrato estipula o valor mensal a ser pago e o direito do contratante de utilizar a energia gerada pela usina.

De antemão, é importante ressaltar que ao alugar o sistema de energia solar, o consumidor não precisará pagar investimento e nem se preocupar com questões como construção e operação da usina. Isso será responsabilidade do dono da usina. O desconto dado na fatura de energia pela concessionária regional que faz a distribuição de energia após o pagamento da mensalidade. Investir nessa opção é sinal de economia e uma forma de se preocupar com a sustentabilidade do planeta.

## **METODOLOGIA**

O presente estudo trata-se de uma apresentação integrativa da literatura por obedecer às seguintes fases: 1) identificação do tema e formulação da questão da pesquisa; 2) estabelecimentos de critérios de inclusão e exclusão dos estudos para amostragem; 3 coletas de dados

que serão extraídos dos estudos; 4) análises dos resultados; 5) discussão e apresentação dos resultados.

Obedecendo à primeira etapa, elaborou-se a seguinte questão norteadora: “Como Fazendas solares no cenário atual? ”.

A busca na literatura e documentos relacionados será realizada nas seguintes bases de dados: BEN (Balanço Energético Nacional), Revista FOCUS ENERGIA, artigos acadêmicos sobre Fazendas Solares e Mercado Nacional de Energia disponibilizado no Google Student, livros acadêmicos, IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica).

Para a seleção dos artigos foram considerados os seguintes Descritores: Fazendas Solares, Mercado de Energia Nacional e BEN (Balanço Energético Nacional).

Como critérios de inclusão para o estudo delimitaram-se artigos entre 2003 e 2021 com estudos que correspondem à questão norteadora, com textos completos disponíveis online nos idiomas português e inglês. Para critérios de exclusão definiram-se estudos longitudinais e estudos comparativos. Pontua-se que os artigos encontrados em mais de uma base de dados foram contabilizados apenas uma vez.

A seleção ocorrerá por meio de leitura de títulos, resumos e leitura íntegra dos textos, quando necessária, como forma de seleção de acordo com os critérios de inclusão e exclusão.

## RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se obter como resultado um amplo estudo sobre fazendas solares e suas principais vantagens, características e desvantagens de forma que o consumidor obtenha conhecimento sobre a funcionalidade desta modalidade desde como a energia é gerada até como ela chega no consumidor objetivando sempre o melhor caminho para o consumidor e o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: Acesso em: 10 out. 2020.

BENTO, M. *et al.* MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA Azenaide Ruivo Advincola Roriz Fontes de Dados, 2020, [s.l: s.n.]

BENTO, M. *et al.* MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA Azenaide Ruivo Advincola Roriz Fontes de Dados. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ResenhaEnergicaExercicio2020final.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2022.

MÁLIA, Miguel; BRITO, Jorge de; BRAVO, Miguel. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. Ambiente construído, v. 11, p. 117-130, 2011.

OSÓRIO, André Filipe. Identificação modal e simulação da resposta sísmica de barragens abóbada. 2015. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

SALAMONI, Isabel T. Um programa residencial de telhados solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica. Tese de doutorado -

Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2009.

SOUZA, Antônio W. Albino. Fundamentos da teoria de energia solar e seu uso. Belo Horizonte: Editora da Fundação Brasileira de Direito Econômico, 1994.

PORTAL BRASILEIRO DE ENERGIAS RENOVAVEIS. Disponível em <[http://www.energiarenovavel.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=48&Itemid=144](http://www.energiarenovavel.org/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=144)> Acesso em: 28 fev. 2022

REN 482 (Resolução Normativa nº 482/2012) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica)

Brasil gera 45% de energia renovável e lidera transição energética no Brics. Disponível em: <[https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38330](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=38330)>.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010. Disponível em: <[www.aneel.org.br](http://www.aneel.org.br)> Acesso em 05 fev. 2022

MOR, MICHELE. Aluguel de Energia Solar é opção para economizar. 21 de junho de 2021. (Disponível em <https://www.diariodaregiao.com.br/economia/aluguel-de-energia-solar-e-opc-o-para-economizar-1.791050>)

BCB (O que é administradora de Consórcio. Banco Central do Brasil, 2022. (Disponível em <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/administradoraconsorcio>)

Lei nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976.

Lei nº 11.795, de 08 de outubro de 2008.

Instrução Normativa da Receita Federal do Brasil nº 1.634, de 06 de maio de 2016.

JOSÉ, N. *et al.* Considerações sobre as PersPeCtivas da Matriz elétriCa brasileira. [s.l: s.n.]. Disponível em: [http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/44\\_TDSE19.pdf](http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/44_TDSE19.pdf)

TD 2680 - Transição Energética e Potencial de Cooperação nos Brics em Energias Renováveis e Gás Natural. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38329&Itemid=457](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=38329&Itemid=457) Como funciona a energia Solar Fotovoltaica benefícios e vantagens. Disponível em: <http://www.wasolar.com.br/como-funciona-a-energia-solar>

MARSON, P. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ -UTFPR DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA -DAELT ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAÍCO CONECTADO A REDE ELÉTRICA EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO CURITIBA 2016. [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18556/1/CT\\_CEER\\_I\\_2015\\_12.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18556/1/CT_CEER_I_2015_12.pdf)

VARELLA, Fabiana Karla de O. M. Estimativa do Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil. Tese de doutorado – Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas – SP, 2009.

VERMA, Deepak; MIDTGÅRD, Ole-Morten; SÆTRE, Tor O. Review of photovoltaic status in a European (EU) perspective. In: 2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. IEEE, 2011. p. 003292-003297.



# **Análise da eficiência energética e adequação luminotécnica da empresa Assistec**

## **Analysis of energy efficiency and adequacy of lighting design of the Assistec company**

---

Rafael Lima de Oliveira

*Mestre em Engenharia Elétrica pela PUC - RJ*

<http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

Matheus Bui de Oliveira

*Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Redentor - RJ*

<http://lattes.cnpq.br/0883477070051938>

Rodrigo Silveira Ribeiro

*Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Redentor - RJ*

<https://lattes.cnpq.br/8502182959322231>

Amanda Camerini Lima

*Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UENF - RJ*

<http://lattes.cnpq.br/1522879122454176>

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.2

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a eficiência energética e adequar a iluminância da empresa Assistec, Itaperuna - RJ. Foi utilizado um luxímetro para medir em Luxs cada ambiente da empresa para que pudesse comprovar que a iluminância não estava adequada, possuindo somente alguns setores que estavam de acordo com a norma NBR 8995-1 (2013), sendo que dois deles a iluminação natural está presente. Já em relação ao uso racional de energia elétrica foi provado ao contrário, a empresa de fato possui uma excelente eficiência energética, pelo fato de utilizar bons e novos aparelhos elétricos, assim como racionalizar o tempo de uso de cada um, beneficiando-se assim uma melhor economia de energia elétrica. Contudo, pode-se concluir que foi necessário realizar um projeto luminotécnico para que houvesse um melhor conforto visual por parte dos funcionários, ou seja, houve a necessidade da proposta da substituição das lâmpadas existentes por mais luminosas e melhores.

**Palavras-chave:** eficiência energética. economia de energia. luminotécnica.

## ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the energy efficiency and adjust the illuminance of Assistec Company, Itaperuna - RJ. A luxmeter was used to measure in Luxs each environment of the company so that it could verify that the illuminance was adequate, having only a few sectors that were in accordance with the NBR 8995-1 (2013) standard, two of which have natural lighting. In relation to the rational use of electrical energy, the opposite has been proven, in fact it has excellent energy efficiency, due to the fact that it uses good and new electrical appliances, as well as rationalizing the time of use of each one, thus benefiting from a better economy of electrical energy. Better lighting was necessary to make a more comfortable project, that is, the need to replace existing lamps with more.

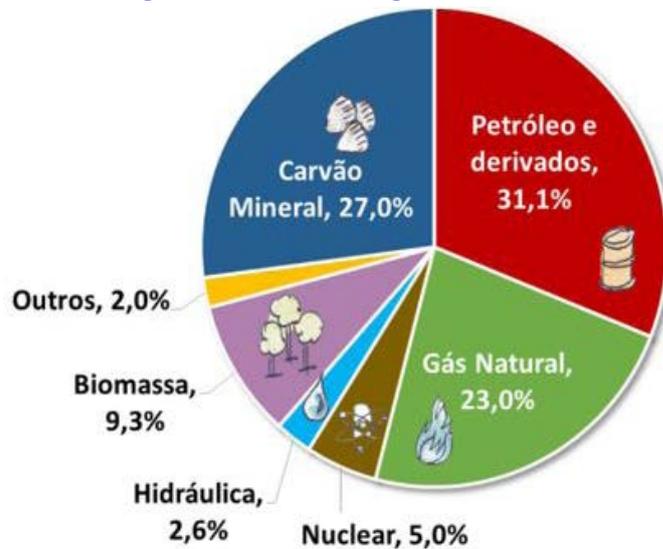
**Keywords:** energy efficiency. energy saving. lighting design.

## INTRODUÇÃO

O cenário da matriz Energética Mundial é dominado pela queima de combustíveis ou recursos não naturais e poluentes em cerca de 86,1 %. Segundo IEA (2021) *apud* Empresa de Pesquisa Energética (c2022), o Brasil, no entanto, já se encontra em uma situação completamente oposta, pois há uma grande sustentabilidade e variedade de fontes renováveis de energia representando 46 % do total, mas a utilização torna-se ainda maior, chegando a 83 %, sendo a hidrelétrica a mais utilizada, sendo algo muito importante e benéfico para o país. (BEN, 2021 *apud* EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, C2022).

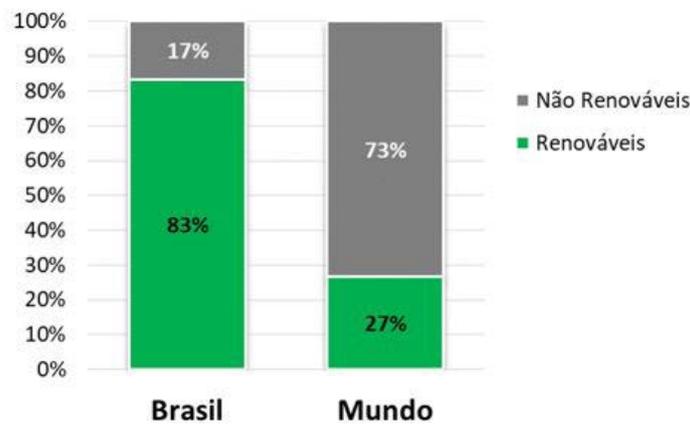
Conforme ilustra a Figura 1, destaca-se os principais meios de produção de eletricidade mundial no ano de 2019 e na Figura 2 a comparação da utilização de energias renováveis no Brasil e no mundo:

**Figura 1 - Matriz Energética Mundial 2019**



Fonte: IEA (2021) *apud* Empresa de Pesquisa Energética (c2022)

**Figura 2 - Utilização de Energias Renováveis no Brasil e no Mundo**



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (c2022)

A eficiência energética é a economia consciente de energia elétrica, sem que haja perda na qualidade e quantidade em razão do uso dela. Pode conter ainda a utilização de fontes renováveis para auxiliar a redução do consumo, como por exemplo, sistemas fotovoltaicos, biomassa, eólica, entre outras. Além disso, caso o uso desta não for consciente, problemas socioambientais podem ser elevados drasticamente, como a poluição atmosférica, provocando consequências à saúde da população, logo, também a existência de comunidades periféricas que sobrevivem em meio a locais onde ocorreu a degradação ambiental. (GODOI, J. M. A., JÚNIOR, S. OLIVEIRA, 2009).

Contudo, o propósito deste trabalho é evidenciar a atual gestão energética da empresa Assistec em Itaperuna - RJ e propor métodos e ideias de melhoria energética, possuindo um intuito de economizar nas tarifas de luz.

## Objetivo Geral

O objetivo central deste trabalho é centralizar, definir e propor métodos para a economia racional de energia elétrica e contribuir com o conforto visual e luminotécnico, assim como o bom aproveitamento deles, gerando cortes de gastos das despesas e diversos benefícios para a em-

presa na qual o estudo está sendo feito.

## Objetivos Específicos

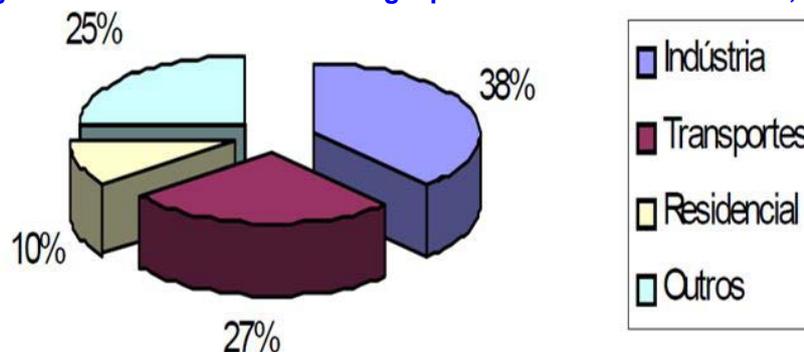
- Propor a troca de lâmpadas por novas e mais eficientes,
- Propor um local confortável através de projetos luminotécnicos,
- Analisar os aparelhos elétricos e o consumo deles na empresa,

## Justificativa

A eficiência energética em empresas é de grande valor, pois economizar energia é bastante importante para o crescimento dela, visto ainda que o corte de gastos desnecessários é algo fundamental para qualquer corporação com fins lucrativos.

Segundo BEN (2008) *apud* Godoi. J. M. A., Júnior, S. Oliveira (2009), cerca de 38% do consumo final de energia elétrica é pela indústria no Brasil, conforme Figura 3, ou seja, o ato de economizá-la e racionalizá-la de forma eficiente e inteligente é um dos melhores métodos. Mesmo que a fonte energética no país não seja predominante da queima de combustíveis fósseis, os impactos causados pelas grandes usinas hidrelétricas provocam diversos fatores, assim como alterações do regime hidrológico, afeta a qualidade da água devido a eutrofização acelerada, gerando emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa), assoreamento dos reservatórios, em razão do desmatamento da mata ciliar, entre outros.

**Figura 3 - Consumo final de energia por área de atividade: Brasil, 2007**



**Fonte: BEN (2008) *apud* Godoi. J. M. A., Júnior, S. Oliveira (2009)**

Logo, pode-se compreender que a questão financeira e principalmente a socioambiental é de grande preocupação no atual cenário brasileiro, sendo ela um fator importante a ser justificado em razão aos problemas ocorridos.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico de Revisão Bibliográfica, há todo o material estudado para a pesquisa do tema deste trabalho, englobando os conceitos de Energia e Potência, Eficiência Energética e Luminotécnica.

## O que é energia e potência?

O conceito de energia é o ato de realizar trabalho, podendo ser de vários tipos, como deslocar, rodar, transformar, por exemplo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, c2022).

Um átomo possui um núcleo, na qual é presente prótons e nêutrons, sendo que envolta dele está o elétron, fazendo o transporte de energia de um local para outro, ou seja, esta é a definição de energia elétrica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, c2022).

Conforme Genuino Júnior, Carreiro e Oliveira (2022), potência é denominada como quantidade de energia. O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é composto por geração, transmissão, distribuição e consumo, sendo que as Unidades Consumidoras (UCs) precisam deste potencial para atender as cargas.

## Eficiência energética

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (2001), a eficiência energética é uma prática voltada para a melhoria quanto ao uso das fontes de energia.

Conforme Rezende e Lisita (2014), o consumo de energia elétrica por parte dos setores comerciais representa cerca de 44% e a empresa Assistec é uma dessas que com o aumento de conhecimento acerca da eficiência energética necessita e tem um dever com o meio ambiente de reduzir essas estatísticas que tanto causam dor de cabeça para a logística dos empreendedores.

## Luminotécnica

O estudo da luminotécnica para fins de produção deste trabalho foi baseado na Norma Brasileira Regulamentadora NBR 5413 (1992), NBR 8995-1 (2013) e NBR 15215-4 (2003) da Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT) que está relacionada à Iluminância de interiores, iluminação de ambientes de trabalho e Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição, respectivamente.

Na Figura 4, evidencia-se o espectro visível da luz e os seus respectivos comprimentos de onda, na qual são ondas eletromagnéticas, ou seja; ultravioleta: podem ser responsáveis por matar bactérias e fungos, despigmentação de certos materiais e bronzeamento de pele; infravermelho: há a sensação de calor; espectro visível: é responsável pelas ondas sensíveis aos olhos humanos, com isso, pode-se enxergar as cores. (OSRAM, 2008 *apud* REZENDE, D.; LISITA, O, 2014)



**Fonte: NAKAYAMA (2007) *apud* REZENDE, D.; LISITA, O (2014)**

A elaboração de um projeto luminotécnico viabiliza bastante a questão das despesas da empresa, pois segundo Amaral e Gonçalves (2002) *apud* Rezende e Lisita (2014), o gasto da

iluminação do setor comercial são equivalentes a cerca de 44% da energia elétrica do local. Além disso, há a preocupação ao meio ambiente através da diminuição do consumo de eletricidade, ou seja, a redução da necessidade da geração de novas fontes energéticas.

O estudo da luminotécnica possui várias grandezas medidas que contribuem para o cálculo da iluminação adequada. Conforme Gebran e Rizzato (2017) *apud* Garcia, Garibaldi e Oliveira (2021), o fluxo luminoso é medido em lúmens (lm), na qual é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa.

“A iluminância, cuja unidade de medida é o lux (lx), é o limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero” (NBR 5413, 1992, p. 1 *apud* GARCIA, GARIBALDI E OLIVEIRA, 2021).

De acordo com Gebran e Rizzato (2017) *apud* Garcia, Garibaldi e Oliveira (2021), o IRC é a relação da cor real e a aparência dela, conforme a uma fonte de luz, sendo de um objeto ou superfície. Segundo o INMETRO o Índice de Reprodução de Cores de iluminação pública deve ser maior ou igual a 70.

A razão do fluxo luminoso de luminárias (lm) pela potência total utilizada (W) é considerada eficiência energética. (INMETRO, 2017, p. 19 *apud* GARCIA, GARIBALDI E OLIVEIRA, 2021).

**Tabela 1 - Valores Usuais do Fator de Depreciação**

AMBIENTE	PERÍODO DE MANUTENÇÃO		
	2.500 HS	5.000 HS	7.500 HS
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

**Fonte: França (2019)**

Conforme França (2019), a Tabela 1 apresenta os valores do Fator de Depreciação no qual “[...] relaciona o fluxo emitido da fonte de luz no fim do período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma.” Esta constante é relevante, pois ao longo do tempo a lâmpada perde uma parcela de sua iluminância devido ao acúmulo de poeira e sujeira.

Há também a questão dos índices de refletância, no qual é basicamente o Coeficiente de Utilização, sendo a relação do fluxo total pelo fluxo útil, levando em consideração fatores como plano de trabalho e cor do teto, parede e piso (LIMA, 2017). A Tabela 2 apresenta estes valores:

**Tabela 2 - Coeficiente de Utilização**

Índice	Reflexão	Significado
1	10%	Superfície escura
3	30%	Superfície médio
5	50%	Superfície clara
7	70%	Superfície branca

**Fonte: Lima (2017)**

A Equação 1 apresenta o fluxo luminoso total  $\phi_t$  (lm), sendo necessário encontrar os valores da Área do Recinto “S” (m), Nível de Iluminação “E” (lx), Fator de Utilização “u” e Fator de

Depreciação “d” (LIMA, 2017).

$$\varphi_t = \frac{S \times E}{u \times d} \quad (1)$$

Após isso, pode-se calcular o número de luminárias “n” a partir da relação do fluxo luminoso total “ $\varphi_t$ ” (lm) pelo fluxo individual “ $\varphi$ ” (lm) (LIMA, 2017). A Equação 2 apresenta a fórmula:

$$n = \frac{\varphi_t}{\varphi} \quad (2)$$

Um fator importante é o Índice do local “K”, sendo este a relação do produto do comprimento “C” (m) e da largura “L” (m) pela multiplicação da altura do recinto “Hm” (m) (e quando este for maior que 1 metro utiliza-se “Hm’ ”) pela soma entre as variáveis “C” e “L” (NBR 15215-4, 2003, p.6). A Equação 3 apresenta esta fórmula:

$$K = \frac{C \times L}{H_m (C + L)} \quad (3)$$

O valor do Índice “K” está relacionado a quantidade de pontos a serem medidos a iluminação com o luxímetro no local. A Tabela 3 apresenta o número de medições:

**Tabela 3 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos.**

K	Nº de Pontos
K<1	9
1≤K<2	16
2≤K<3	25
K≥3	36

**Fonte: NBR 15215-4 (2003)**

Ainda em conformidade com a NBR 15215-4 (2003, p.7), numa malha de pontos, a área deverá ser dividida em quadrados de até um metro quadrado no qual as medições deverão ser feitas no centro deles. As margens do cômodo devem ainda ser afastadas 50 centímetros para evitar estarem próximas das paredes.

Logo, quando encontrar todos os valores em lux de todas as medições, faça-se a média e terá o resultado (NBR 15215-4, 2003).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O intuito deste trabalho será analisar/adequar a eficiência energética e luminotécnica da empresa Assistec, em Itaperuna - RJ, utilizando diversos métodos e pesquisas que visem solucionar os problemas encontrados ao longo do tempo no local estudado. Contudo, destaca-se os principais projetos para economizar energia elétrica e cortar gastos desnecessários:

- Análise de equipamentos elétricos relacionados a potência e o tempo de uso deles;
- Análise/Adequação luminotécnica e projeto (uso do Dialux);

Para realizar os objetivos e as metas da metodologia, fez-se necessário já coletar e medir alguns dados para verificar a necessidade de um projeto luminotécnico adequado e a análise do consumo dos aparelhos da empresa Assistec.

## Descrição da área de estudo/amostra

Neste trabalho, o local onde será aplicado a metodologia será a empresa Assistec, sediada no endereço Rua Waldomiro Arrabal Fernandes, N 261, bairro Cehab, Itaperuna - RJ.

Os locais de estudo são divididos em setores ou cômodos da unidade empresarial, sendo estes: Administração, Área de Serviço, Banheiro, Corredor, Cozinha, Estoque, Garagem e Manutenção, totalizando 8 áreas.

A empresa também possui diversos aparelhos eletrônicos os quais são utilizados como tarefa principal e indispensável para o trabalho empresarial. Alguns desses equipamentos são: notebook, compressor, ar-condicionado, luz de bancada, impressora, ventilador, frigobar, cafeteira, bebedouro e estação de solda, sendo o último um dos mais importantes para o serviço de manutenção.

O estudo em relação a esses aparelhos será uma análise das suas eficiências em relação ao tempo de uso de cada um, análise de economia, consumo energético e verificação do bom estado e eficiência deles.

## Metodologia da coleta de dados

O método da coleta de dados foi baseado na observação e no registro da potência elétrica dos equipamentos da empresa pesquisada e do tempo de consumo de cada um deles. A medição da iluminância do local foi realizada através da utilização do luxímetro da marca Instru-therm, modelo THDL-400, como também outras informações referentes ao cálculo luminotécnico, sendo assim possível prever a quantidade de KWh consumido ao mês e conseqüentemente o valor da conta.

Estes dados foram coletados com o intuito de projetar futuramente um projeto luminotécnico e um melhor método do consumo da energia elétrica em questão.

## Dados coletados por setor

O registro da coleta de dados está presente na Tabela 4, informando o tipo de equipamento, quantidade, potência, horas de uso e total de KW diário, dias no mês utilizado e KWh mensal.

**Tabela 4 - Informações Gerais Sobre os Aparelhos da Empresa**

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Hora	Total de KW dia	Total de dias	Total de KWh mês
Notebook	3	45	5	0,23	22	5,00
Compressor	1	2169,2	0,42	0,91	22	20,02
Ar-Condicionado	1	814	5	4,07	22	89,54
Luz de Bancada	2	24	6	0,14	22	3,17
Ventilador	1	126	6	0,76	22	16,63
Freezer	1	152,4	24	3,6576	30	109,728
Cafeteira	1	550	0,5	0,28	22	6,20

Bebedouro	1	60	24	1,44	30	43,20
Lâmpada de Led	8	9	4	0,036	22	0,79
Lâmpada de Led	1	15	6	0,09	22	1,98
Lâmpada de Led	1	20	8	0,16	22	3,52
Estação de Solda	1	540	3,5	1,89	22	41,60
Impressora	1	63,5	0,5	0,032	22	0,70
<b>Total</b>						<b>342,078</b>

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A Tabela 5 representa os setores da empresa Assistec e seus respectivos comprimentos, larguras e áreas, no qual posteriormente será usado para os cálculos luminotécnicos:

**Tabela 5 - Dimensões e Áreas dos Setores**

Setor	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Cozinha	3,9	3,31	12,91
Manutenção	3,34	2,2	7,35
Banheiro	2,33	1,68	3,91
Corredor	1,68	0,86	1,44
Administração	3,1	3,31	10,26
Estoque	4,2	3,34	14,03
Garagem	4,78 (3,49)	3,31(1,18)	19,94
Área de Serviço	3,34	2,22	7,41

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A Tabela 6 representa os setores da empresa Assistec e suas respectivas alturas das mesas em relação ao piso do local, como também suas lâmpadas em Watts, quantidades das mesmas e seus lúmens:

**Tabela 6 - Plano de Trabalho, Quantidade e Potência de Lâmpadas**

Setor	Hm (m)	Lâmpada (W)	Quant. Lâmp.	Lúmens (lm)
Cozinha	0,905	9	1	800
Manutenção	1,02	20	1	1850
Banheiro	0,79	9	1	800
Corredor	-	9	1	800
Administração	0,735	15	1	1507
Estoque	0,75	9	1	800
Garagem	0,75	9	3	800
Área de Serviço	0,75	9	1	800

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A Tabela 7 representa os setores da empresa Assistec e as respectivas cores de suas paredes, tetos e pisos:

**Tabela 7 - Refletância das Superfícies dos Cômodos**

Setor	Refletância Parede	Refletância Teto	Refletância Piso
Cozinha	Branco	Branco	Claro
Manutenção	Branco	Branco	Claro
Banheiro	Claro	Médio	Claro
Corredor	Branco	Branco	Claro
Administração	Branco	Branco	Claro
Estoque	Branco	Branco	Claro
Garagem	Branco	Branco	Claro
Área de Serviço	Branco	Escuro	Médio

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A Tabela 8 representa os cômodos da empresa Assistec e suas respectivas quantidades de janelas e a altura delas em relação ao piso do local (sendo Hm' a altura da base da janela até o piso):

**Tabela 8 - Quantidade de Janelas, Altura Hm e Hm'**

Setor	Quant. Janela	Hm (m)	Hm' (m)
Cozinha	2	2,12	1,05
Administração	1	2,12	1,05
Estoque	2	2,12	1,05
Banheiro	1	2,24	1,65
Manutenção	1	2,12	1,05
Garagem	1	2,12	1,05
Área de Serviço	1	2,12	1,05

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

## Aparelhos de Medição Utilizados

A medição na empresa foi feita com base em dois instrumentos: Luxímetro Digital e Tre-na.

**Figura 5 - Termo-Higro-Sonômetro-Luxímetro Digital Portátil THDL-400**



**Fonte: Instrutherm (c2015)**

Conforme a Figura 5, na medição da iluminância do local foi utilizado o Luxímetro THDL-400 da marca Instrutherm possuindo ainda outras funções como: Termômetro, Higrômetro e Sonômetro. Este equipamento pertence ao laboratório do Centro Universitário Redentor.

**Figura 6 - Trena Tramontina 43156305 5 Metros**



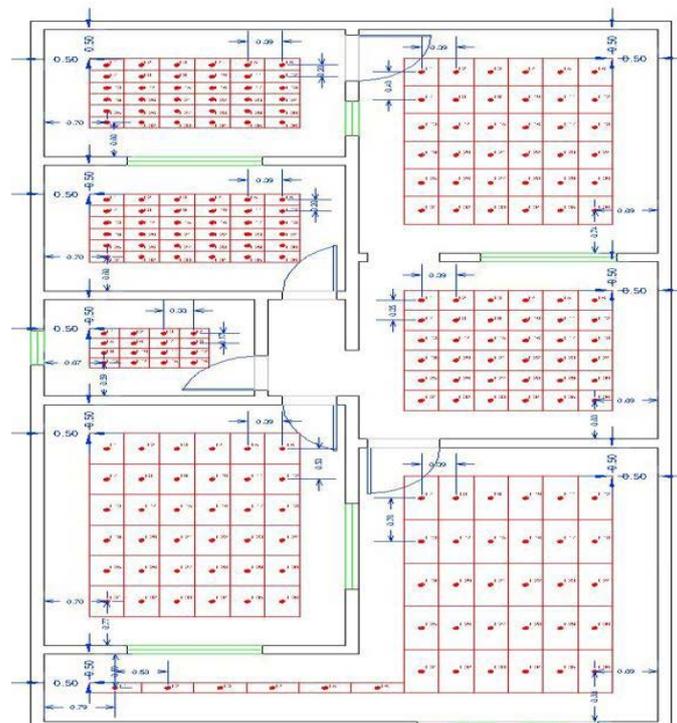
Fonte: Amazon (c2022)

A Figura 6 apresenta a trena utilizada para medir as dimensões de cada cômodo da empresa, para que assim fosse possível realizar os cálculos luminotécnicos.

### Método de Medição

O método de medição foi baseado na NBR 15215-4 (2003) e os equipamentos utilizados foram: Luxímetro THDL-400, para medir a iluminância de cada setor, e a trena Tramontina para avaliar as dimensões locais.

**Figura 7 - Pontos para serem Medidos a Iluminância**



Fonte: Autoria Própria (2022)

A Figura 7 é a representação dos pontos que foram medidos com o luxímetro, encon-

trando-se a quantidade de lux em cada ambiente. Logo após isso, foi feita uma média aritmética para que seja analisado conforme a norma. Apenas o corredor não foi mensurado pela questão de sua pequena área.

As distâncias estão respeitando a NBR 15215-4 (2003), possuindo um limite mínimo a partir de 50 centímetros das bordas do cômodo, sendo informado ainda na planta baixa a distância entre cada ponto medido.

### Iluminâncias Medidas em Cada Setor

Em cada setor da empresa foi medido sua iluminância conforme a NBR 15215-4 (2003), contendo afastamento mínimo de 50 centímetros dos extremos do cômodo e realizando a medição de 36 pontos em todos os setores, exceto o banheiro que possui 16 e o Corredor que não foi mensurado, conforme cálculos da Equação 3 e da Tabela 3.

Após feitas as medições em cada cômodo, deve-se encontrar a Iluminância Média, ou seja, basta fazer a média aritmética dos valores encontrados.

É importante ressaltar que as medições foram realizadas na parte da manhã, logo a Tabela 9 evidencia a Iluminância dos setores da empresa, assim como a média de cada um.

**Tabela 9 - Medições em Lux por Pontos em cada Setor**

Tabela de Medições							
Ponto Medição	Administração	Área de Serviço	Banheiro	Cozinha	Estoque	Garagem	Manutenção
	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
E1	49,8	8220	13,8	47,4	21,4	2090	86,4
E2	50,3	8400	10,9	59,4	26,9	3190	100,6
E3	54,7	4300	10,3	50,3	39,3	3540	130,4
E4	55,3	1810	9,7	47,3	62,2	3530	119,8
E5	53,4	880	46	34,6	53,3	3260	113,3
E6	46,4	430	61,1	15	40,1	2990	130,4
E7	52,5	4380	60	96	22,3	280	75,9
E8	57,3	5030	47,8	92,2	46,8	400	87
E9	66,6	4820	42,1	79,4	58,8	390	100,9
E10	63	2980	49	55	65,4	440	135,2
E11	60,5	1940	46,7	47,2	64,6	470	150,9
E12	52	1080	40,6	37,2	55,7	390	118,3
E13	52,6	940	27,4	53,5	22,1	360	96,5
E14	65,8	1570	29,8	70,6	49,8	340	129,1
E15	77,2	2390	35,2	72,8	64	370	138,5
E16	71,2	1980	42,1	62	67,1	470	120,4
E17	70	1370		46,9	74,5	420	96,5
E18	59,7	900		39	77,3	400	80,7
E19	68,6	1080		44,3	30,9	430	86,3
E20	80,4	1420		52	55,3	600	108
E21	85,3	1020		62,7	69,3	480	120,8
E22	84,3	990		60,6	68,7	450	150,8
E23	78	400		60,5	63,6	470	130,7

E24	70,3	770		48,3	83,8	460	112,7
E25	61,5	380		47	23,6	530	75,5
E26	81	470		33,9	62,2	640	88
E27	88,5	430		40,9	76,4	740	96,4
E28	82,6	420		38,8	83,5	570	106,6
E29	75,2	610		33,3	78,9	680	120,4
E30	75,7	180		11,4	76,8	740	90,6
E31	69,7	400		50,2	30,8	1250	62,3
E32	74,1	330		32,7	62,2	1350	71,5
E33	70,7	420		54	84,8	1280	87,3
E34	75,2	390		46,2	89,9	1260	93,3
E35	70,6	360		48	84,5	1200	95
E36	64,4	180		30	69,1	1100	89,7
<b>Média</b>	<b>67,07</b>	<b>1768,61</b>	<b>35,78</b>	<b>50,02</b>	<b>58,50</b>	<b>1043,33</b>	<b>105,46</b>

Fonte: Autoria Própria (2022)

## Metodologia de Análise e Execução

Após a coleta dos dados referente às potências dos equipamentos utilizados na empresa, assim como a parte de iluminação do local, nesta etapa deve-se haver a análise das medições e conseqüentemente a execução dos projetos e melhorias propostas.

### Análise do Uso dos Equipamentos da Empresa

Verifica-se que os equipamentos que mais gastam energia elétrica são: Ar-Condicionado, Freezer, Estação de Solda, Bebedouro e Compressor.

O alto gasto de energia se dá por equipamentos de maior potência elétrica, como os citados no parágrafo acima, sendo estes ainda utilizados por longos períodos, principalmente o freezer e o ar-condicionado.

Em relação ao uso racional dos eletrodomésticos e equipamentos elétricos da empresa, pode-se concluir que a mesma já está de acordo com a eficiência energética.

O fator do tempo de utilização de cada aparelho elétrico foi um dos principais contribuidores para essa devida economia, sendo que a potência do resto dos equipamentos é relativamente baixa.

Contudo, pode-se concluir que a eficiência energética da empresa Assistec está excelente e contribui bastante para a economia de energia.

### Adequação Luminotécnica e Qualidade da Iluminação da Empresa

Conforme as medições realizadas com o luxímetro, verificou-se que a maioria dos cômodos não estão de acordo com a NBR 8995-1 (2013) em relação a iluminância de cada tipo de local. Os setores como Área de Serviço, Garagem e Corredor estão em conformidade com a norma, havendo iluminação natural somente nos dois primeiros.

A Tabela 10 exibe uma comparação entre o valor médio medido em lux na empresa e o

valor ideal conforme a NBR 8995-1 (2013), também na mesma unidade.

**Tabela 10 - Comparação da Iluminância Média Medida e Adequada**

Cômodo	Lux Médio Medido	Lux Adequado
Administração	67,07	500
Área de Serviço	1768,61	100
Banheiro	35,78	200
Corredor	100,00	100
Cozinha	50,02	200
Estoque	58,50	100
Garagem	1043,33	75
Manutenção	105,46	500

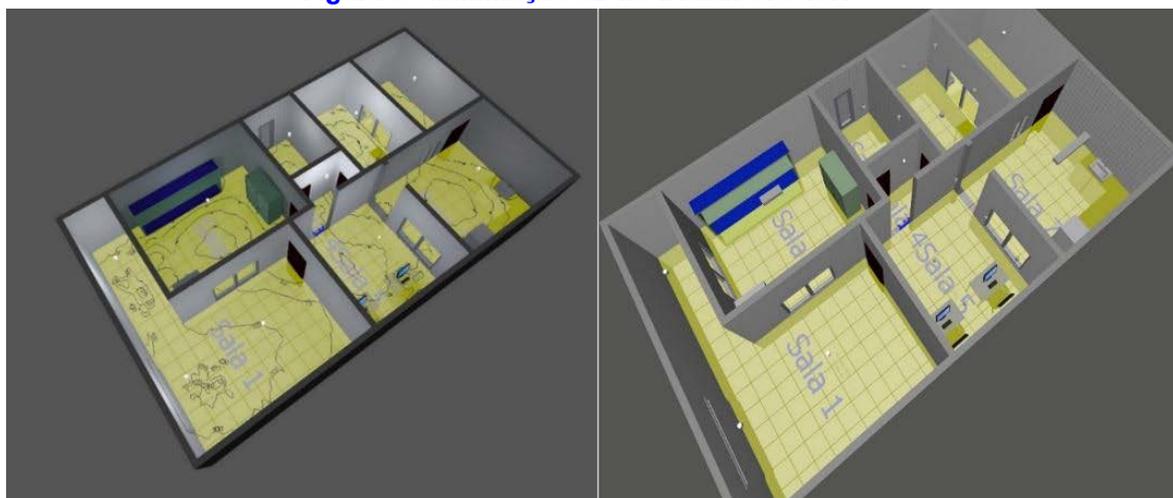
**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Os valores escolhidos como Iluminância Adequada foram retiradas da NBR 8995-1 (2013), tabela “Planejamento dos Ambientes (Áreas), Tarefas e Atividades com a Especificação da Iluminância, Limitação de Ofuscamento e Qualidade da Cor”.

O Software Dialux evo 10.1 foi utilizado para representar a iluminância atual da empresa em modelagem 3D. Para uma representação fiel do atual estado do local estudado foram utilizadas lâmpadas com iluminâncias próximas às usadas atualmente.

Para criar uma modelagem 3D bem parecida com a realidade foram considerados no local os móveis, suas alturas e suas devidas cores, assim como as das paredes. Além disso, o Fator de Depreciação escolhido foi 0,91, caracterizando como local normal, com manutenção em 2500 horas, conforme Tabela 1. Com isso, obtêm-se um projeto bem mais dinâmico e confiável após a conclusão do mesmo.

**Figura 8 - Iluminação 3D no Dialux evo 10.1**



**A Iluminação 3D Atual**

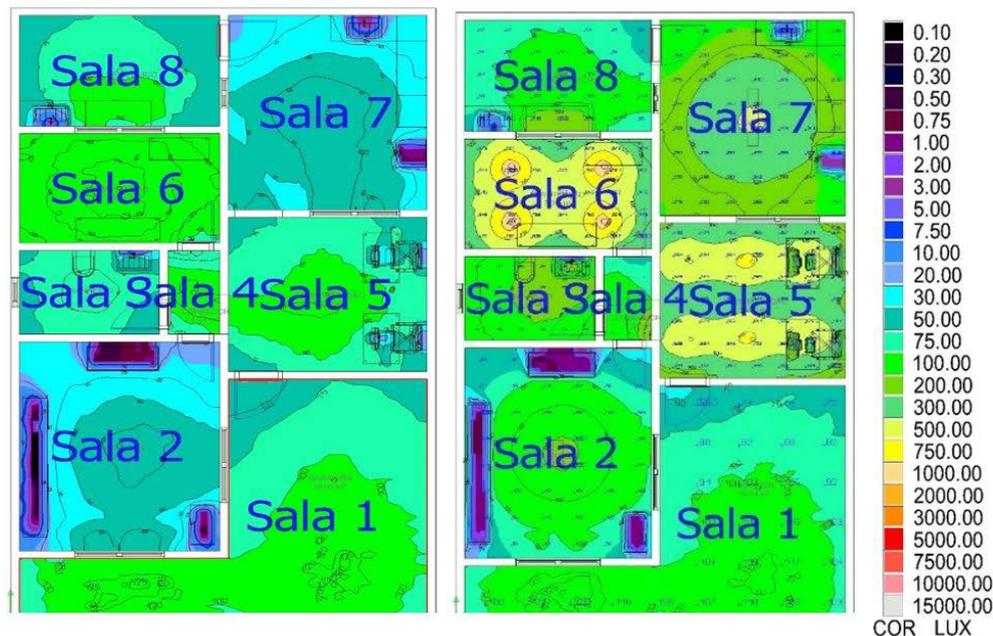
**B Iluminação 3D Corrigida**

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Conforme exibido na Figura 8 A, a iluminação da empresa Assistec, apesar de parecer que a iluminância está aparentemente boa, na realidade não está, há muitos pontos que deveriam estar bem mais iluminados, como mesas de tarefas, prateleiras e pias, por exemplo. A Figura 8 B representa a correção e a melhoria luminotécnica da empresa, sendo necessário a substituição das lâmpadas por outras mais luminosas.

Foi realizado também a distribuição de iluminâncias por cores, permitido assim uma visualização mais fácil e prática de se visualizar, conforme a Figura 9.

**Figura 9 - Iluminação em Cor da Empresa Assistec**



**A Iluminação em Cor Atual    B Iluminação em Cor Corrigida**  
**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Conforme a Figura 9, tons azulados e escuros representam que há baixíssima quantidade de lux na área, já tonalidades esverdeadas e vermelhas indicam que há mais lúmens por metro quadrado.

A Figura 9 A indica a Iluminação em Cor Atual da empresa, ou seja, há pouca iluminação por setor, porém a Figura 9 B já representa a correção e a melhoria aplicada.

Para a elaboração do projeto luminotécnico adequado para a empresa Assistec, foi escolhido priorizar o conforto visual e ainda escolher lâmpadas econômicas dentre as já utilizadas.

Todas as lâmpadas foram substituídas pelas seguintes:

As lâmpadas da Administração foram substituídas por 6 lâmpadas Intral AR111, LED, 9,7 W, 1034 lúmens e 3000 K.

As lâmpadas da Área de Serviço e da Garagem foram substituídas por lâmpadas Stella G95 Balloon STH20250-27 Bulbo, LED, 8,4 W, 866 lúmens e 3000 K.

As lâmpadas do Banheiro foram substituídas por 2 luminárias Intral Tondo DIE-168, LED, 11,1 W, 797 lúmens e 3000 K.

A lâmpada do Corredor foi substituída por lâmpada Intral Bulbo G5, LED, 6,1 W, 534 lúmens e 3000 K.

A lâmpada da Cozinha foi substituída pela luminária Intral Zinia G2 Embutir 09878 DE-169, LED, 44,8 W, 3752 lúmens e 3000 K. Já no Estoque, foi alterada pela mesma luminária, porém de modelo diferente, usando a 09873 DE-109, 22,7 W, 1674 lúmens e 3000 K.

A lâmpada da Manutenção foi substituída por 4 lâmpadas Intral PAR 38 06716, LED, 13

W, 1360 lúmens e 3000 K.

Portanto, pode-se concluir que houve um aumento total de 132,6 W de potência elétrica de iluminação, sendo justificado pela questão da melhoria da iluminância da empresa que deve ser ajustada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi comprovado que a iluminância da maioria dos cômodos não estava adequada a NBR 8995-1 (2013), e houve a necessidade da elaboração de um novo projeto luminotécnico a fim de proporcionar um melhor aproveitamento visual do ambiente.

Além disso, foi provado que a eficiência energética da empresa está conforme os padrões, o tempo de uso de cada aparelho elétrico está devidamente correto e bem aproveitado, sendo ainda equipamentos novos e bastante eficientes, contribuindo com a economia de energia.

Contudo, pode-se concluir que a eficiência energética da empresa está excelente e a iluminação da mesma foi adequada para uma melhor visualização e conforto visual, adequando-se também a ergonomia.

## REFERÊNCIAS

- AMAZON. Tramontina 43156305, Trena com Fita de Aço Capacidade 5M, Amarelo. Disponível em: [https://www.amazon.com.br/Tramontina-43156305-Trena-Capacidade-Amarelo/dp/B076BLRQGY/ref=asc\\_df\\_B076BLRQGY/?tag=googleshopp00-20&linkCode=df0&hvadid=379720742290&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=1831560218172494424&hvppone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvllocphy=1031840&hvtargid=pla-902670708874&pssc=1](https://www.amazon.com.br/Tramontina-43156305-Trena-Capacidade-Amarelo/dp/B076BLRQGY/ref=asc_df_B076BLRQGY/?tag=googleshopp00-20&linkCode=df0&hvadid=379720742290&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=1831560218172494424&hvppone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvllocphy=1031840&hvtargid=pla-902670708874&pssc=1). Acesso em: 12 abr. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15215-4. Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5413: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- CAPRIGLIONE, Paulo Sérgio. A energia renovável na matriz energética brasileira. Disponível em: [http://www.inee.org.br/down\\_loads/escos/ee\\_novo%20modelo.pdf](http://www.inee.org.br/down_loads/escos/ee_novo%20modelo.pdf). Acesso em: 26 fev. 2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Formas de energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/abcdenergia/Paginas/FORMAS-DE-ENERGIA.aspx>. Acesso em: 25 mar. 2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 25 mar. 2022.
- FRANÇA, Rogério. Archademy. O que é cálculo luminotécnico? Como fazer e que programa usar? Disponível em: <https://www.archademy.com.br/blog/calculo-luminotecnico/>. Acesso em: 12 abr. 2022.

GARCIA, Beatriz de Oliveira; GARIBALDI, Daniel Silva; OLIVEIRA, Rafael Lima de. Eficiência e regularidade do sistema de iluminação pública da avenida Senador Francisco Tinoco do município de Itaperuna-RJ. *Arquitetura e Engenharia Civil Contemporânea: inovação, tecnologia e sustentabilidade*, [S.L.], p. 69-84, 30 nov. 2021. AYA Editora. <http://dx.doi.org/10.47573/aya.88580.2.48.5>. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/wp-content/uploads/2021/11/L79C5.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

GENUINO JUNIOR, Alexandre Pereira; CARREIRO, Felipe Silveira; OLIVEIRA, Rafael Lima de. Eficiência energética: como corrigir o fator de potência. *Arquitetura e Engenharia Civil Contemporânea: inovação, tecnologia e sustentabilidade 2*, [S.L.], p. 97-111, 28 fev. 2022. AYA Editora. <http://dx.doi.org/10.47573/aya.5379.2.61.9>. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/wp-content/uploads/2022/02/L122C9.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

GODOI, J. M. A., JÚNIOR, S. OLIVEIRA. Gestão da Eficiência Energética. *International Workshop Advances in Cleaner Production*, São Paulo, mai. 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Silvio-De-Oliveira-Junior/publication/237582181\\_Gestao\\_da\\_Eficiencia\\_Energetica/links/54103a910cf2d8daaad26ef6/Gestao-da-Eficiencia-Energetica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Silvio-De-Oliveira-Junior/publication/237582181_Gestao_da_Eficiencia_Energetica/links/54103a910cf2d8daaad26ef6/Gestao-da-Eficiencia-Energetica.pdf). Acesso em: 26 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Energético, Rio de Janeiro, ago. 2001. Disponível em: [http://www.inee.org.br/down\\_loads/escos/ee\\_novo%20modelo.pdf](http://www.inee.org.br/down_loads/escos/ee_novo%20modelo.pdf). Acesso em: 26 fev. 2022.

INSTRUTHERM. TERMO-HIGRO-SONÔMETRO-LUXÍMETRO DIGITAL PORTÁTIL THDL-400. Disponível em: <https://www.instrutherm.com.br/termo-higro-decibel-luxim-mod-thdl-400-digital-portatil>. Acesso em: 10 abr. 2022.

LIMA, Thiago Radd. Guia de Elétrica. LUMINOTÉCNICA - DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO. Disponível em: <https://guiadeeletrica.blogspot.com/2017/07/luminotecnica-dimensionamento-de.html>. Acesso em: 12 abr. 2022.

REZENDE, D.; LISITA, O. Fundamentos para projetos luminotécnicos comerciais: enfoque em livrarias (D.O.I.10.5216/reec.v9i1.25841). REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [S. l.], v. 9, n. 1, 2014. DOI: 10.5216/reec.v9i1.25841. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/25841>. Acesso em: 4 mar. 2022.



**Análise de desempenho de geração  
fotovoltaica: estudo de caso**

**Performance analysis of photovoltaic  
generation: case study**

---

Isadora Gonçalves Alexandre

*Acadêmica do curso de Graduação em Engenharia Elétrica*

Nathalia Vieira Gonçalves Dias

*Acadêmica do curso de Graduação em Engenharia Elétrica*

Victor da Silva Santos

*Engenheiro Eletricista e Engenheiro de Segurança do Trabalho*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.3

## RESUMO

O Brasil passa por crises energéticas constantemente pois quase 70% da energia elétrica do país é vinda de hidrelétricas. Crises hídricas afetam diretamente no funcionamento das usinas, mas ainda assim o Brasil tem um dos maiores potenciais hidráulicos do planeta. A população ainda é muito dependente dessa fonte, mas o país já está diversificando sua matriz energética e adotando o uso de fontes renováveis, as mais comuns sendo a fotovoltaica e eólica. O Brasil é um dos países com maior potencial para geração de energia solar por ser um país com clima tropical, e apesar disso apenas 1,3% da matriz elétrica brasileira faz uso. Os painéis fotovoltaicos, responsáveis pela captação da radiação solar, são instalados geralmente nos telhados ou no solo, são conectados a inversores que transmitem a energia fotovoltaica para o local desejado. A energia excedente gerada é sempre alimentada na rede de distribuição local, proporcionando um desconto na conta mensal de energia elétrica. Se mais energia for produzida do que consumida, os créditos serão acumulados nos próximos meses.

**Palavras-chave:** energia. fotovoltaica. engenharia. renovável. elétrica.

## ABSTRACT

Brazil goes through energy crises constantly because almost 70% of the the country's electricity comes from hydroelectric plants. Water crises directly affect in the operation of the plants, but even so, Brazil has one of the biggest hydraulic potential of the planet. The population is still very dependent on this source, but the country is already diversifying its energy matrix and adopting the use of renewable sources, the most common being photovoltaic and wind power. Brazil is one of the countries with the greatest potential for solar energy generation, for being a country with a tropical climate, and despite that only 1.3% of the electricity matrix Brazilian uses. Photovoltaic panels, responsible for capturing solar radiation, are usually installed on roofs or on the ground, are connected to inverters that transmit the photovoltaic energy to the desired location. The surplus energy generated is always fed into the local distribution network, providing a discount on monthly electricity bill. If more energy is produced than consumed, the credits will accumulate over the next few months.

**Keywords:** energy. photovoltaic. engineering. renewable. electric.

## INTRODUÇÃO

Segundo o site Ambiente Brasil, a energia solar foi descoberta em 1839, através de um físico francês chamado Edmond Becquerel, que descobriu o efeito fotovoltaico, que nada mais é que a conversão direta da luz em eletricidade. O físico notou uma pequena diferença de potencial nos extremos de materiais semicondutores quando exposto a luz solar.

De acordo com o site Portal Solar em 1873 Smith descobriu que o selênio poderia ser usado como fotocondutividade, após 10 anos Charles Frittz montou a primeira célula fotovoltaica a base do elemento químico. Após alguns anos de estudos sobre estruturas no estado sólido foi montada a primeira exposição (aparato) de sistema fotovoltaico.

Conforme a figura 1, o sistema próximo ao que é utilizado na atualidade foi apresentado somente em 1954, quando o químico Calvin Fuller iniciou um procedimento que consistia no do-seamento utilizando como base o silício e assim dando início a produção industrial dos módulos por Russel Shoemaker Ohl.

**Figura 1 – Célula Fotovoltaica a Base de Silício**



**Fonte: Portal Solar**

Na década de 70 houve uma crise mundial de energia elétrica, o que fez com que houvesse um estudo intenso sobre o novo modelo de geração de energia para suprir o fornecimento da população.

Considerado como um grande reator nuclear natural, o sol libera a cada momento fótons, que é como se fosse pacotes de energia, percorrendo cerca de 150 milhões de quilômetros e levando cerca de 8 minutos para chegar até a Terra. Teoricamente a Estrela em questão tem capacidade de gerar em uma hora, energia suficiente para atender a demanda da população mundial por um ano.

A princípio o custo dos materiais para montagem do sistema era extremamente alto, com o decorrer do tempo houve um expressivo aumento de empresas especializadas no ramo de produção de módulos fotovoltaicos e houve também grande evolução de estudos tornando o assunto cada vez mais tecnológico, e como consequência hoje em dia tem-se um ótimo custo-benefício, podendo ser obtido por indústrias, comércios, residências e até mesmo usinas para abastecer uma cidade.

Sendo uma das maiores revoluções no meio das engenharias, em especial a área elétrica, que inclusive, ampliou significativamente a área profissional. É expressivo o número de sistemas fotovoltaicos implantados, não só no Brasil, mas sim no mundo inteiro. Será apresentado neste trabalho um estudo relacionado a um sistema de energia fotovoltaico instalado no ano de 2018 na cidade de Muriaé-MG.

Tendo em vista que é uma energia limpa e totalmente renovável, e sendo também uma forma de investimento, pois o valor investido é recompensado ao longo do tempo, obtendo como resultado uma conta de energia mais barata.

## Objetivos

### Objetivo Geral

Com intuito de analisar o desempenho de um determinado sistema fotovoltaico implantado na cidade de Muriaé e de acordo com as normas da concessionária de energia ENERGISA, terá presente neste arquivo todo o processo, como projeto inicial, carta de aprovação da concessionária, implantação, modificações e adaptações feitas após o projeto inicial.

### Objetivos Específicos

- Apresentar o desempenho do sistema implantado.
- Custo-benefício em materiais utilizados.
- Tecnologia utilizada.
- Economia anual.

### Justificativa

O Brasil passa por crises energéticas constantemente pois quase 70% da energia elétrica do país é vinda de hidrelétricas. Crises hídricas afetam diretamente no funcionamento das usinas, mas ainda assim o Brasil tem um dos maiores potenciais hidráulicos do planeta. A população ainda é muito dependente dessa fonte, mas o país já está diversificando sua matriz energética e adotando o uso de fontes renováveis, as mais comuns sendo a fotovoltaica e eólica.

O Brasil é um dos países com maior potencial para geração de energia solar por ser um país com clima tropical, e apesar disso apenas 1,3% da matriz elétrica brasileira faz uso.

Os painéis fotovoltaicos, responsáveis pela captação da radiação solar, são instalados geralmente nos telhados ou no solo, são conectados a inversores que transmitem a energia fotovoltaica para o local desejado. A energia excedente gerada é sempre alimentada na rede de distribuição local, proporcionando um desconto na conta mensal de energia elétrica. Se mais energia for produzida do que consumida, os créditos serão acumulados nos próximos meses.

### Estrutura do Estudo

O trabalho foi dividido em algumas partes e nele serão apresentados todos os processos, desde a ideia inicial, cálculos de demanda, primeiro projeto finalizado e em utilização até o projeto atual.

### Resultados Esperados

Espera-se que este estudo possa demonstrar os passos para a análise da eficiência energética de sistema fotovoltaico e que estimule metodologias que possa contribuir com aumento da eficiência de geração.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Fontes renováveis de energia

Consideradas fontes de energia inesgotáveis, as fontes de energias renováveis são continuamente repostas. Alguns exemplos de fontes renováveis são:

- Energia hidráulica: através do aproveitamento das águas do rio, que a mesma move turbinas que transforma a energia potencial em mecânica, e por final em energia elétrica.

Ao longo do ano ocorrem variações na produção de energia devido às chuvas nos locais. Para diminuição dessas variações, algumas usinas no processo de construção criam reservatórios para que ocorra acumulação de água em períodos chuvosos e utilizar nos períodos de secas.

- Energia solar: pode ser aproveitada de duas maneiras, em forma de calor ou na forma de luz.

O aproveitamento em forma de calor se dá pelos raios de sol que atingem os painéis coletores térmicos dessa forma aquecem à água no seu interior, e poderá ser utilizada em piscinas, chuveiros, em geração de eletricidade (usinas heliotérmicas) e indústrias. Já em forma de luz que resulta em geração de eletricidade se dá pela captação de luz através dos painéis fotovoltaicos. A geração acontece quando há contato entre os raios solares e o material semicondutor, como havia citado acima, é muito utilizado nesse método o silício, com isso transformando esse processo diretamente em eletricidade.

- Energia eólica: utiliza o movimento da massa de ar, ou seja, o vento. Com isso são utilizados aerogeradores, que são compostos por hélices gigantes (próximas ao tamanho de uma asa de avião) e instaladas em torres de no máximo 150m de altura, conseqüentemente as hélices movimentam de acordo com o vento da localidade gerando a energia.

Os locais no Brasil com maior capacidade devido à quantidade de vento do local são no Nordeste e Sul do país.

- Biomassa: é produzida através de matéria orgânica e vegetal como, bagaço de cana-de-açúcar, estrume, restos alimentícios, algas e entre outros, e após a decomposição gera gases que são utilizados para gerar energia.

A fonte também pode ser usada diretamente com a queima, como acontece nos fogões a lenha, sendo assim gerando calor e o mesmo é aproveitado, e pode ser aplicado também para o aquecimento da água e vapor em alta pressão, como é empregado para o acionamento de geradores elétricos.

No país, o foco dessa fonte de energia renovável está nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, através da plantação e processamento da cana-de-açúcar.

- Energia geotérmica ou geotermal: é a fonte que aproveita o calor interno da terra para transformar em energia elétrica.

Em torno do núcleo terrestre existem mantos, que são formados por magmas (algo próximo a lavas de vulcões) e também são formados por rochas, e por final a última camada que é chamada crosta terrestre (tamanhos variados e com fraturas, que são as chamadas placas tectônicas), que é onde habitamos.

Através de dutos inseridos no subsolo onde há águas quentes e grande volume de calor, assim conduzindo os mesmos até um gerador instalado na superfície terrestre fazendo assim a transformação das energias. Países que utilizam esse método são, Itália, Islândia e Estados Unidos, devido à alta atividade vulcânica.

- Energia oceânica: ainda é uma fonte pouco conhecida, devido ao atual processo de desenvolvimento. A mesma se dá por turbinas imergidas nos oceanos que são movidas através de ondas, correntes marinhas e marés, transformando a energia mecânica em elétrica, semelhante ao que acontece com a energia eólica.

A primeira usina oceânica implantada na América Latina fica no Brasil, mais necessariamente no Porto de Pecém, que fica no estado do Ceará.

## Geração fotovoltaica

A geração fotovoltaica é obtida através das células fotovoltaicas que interagem com os fótons da luz solar. Ela se destaca por ser o tipo mais comum de energia solar, visto que a mesma possui uma variedade de aplicação.

A energia fotovoltaica vem crescendo significativamente nos últimos anos no Brasil, porém, segundo o site Portal Solar, representa somente 1,7% da matriz em todo o mundo. O país tem grande capacidade de produção de energia solar, pois

No país ela vem tomando conta das antigas e novas construções, sendo mais utilizadas em residências. O estado com maior número de sistemas instalados no Brasil é Minas Gerais, com aproximadamente 700MW (megawatts).

## Sistemas fotovoltaicos

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaica, sendo eles, Off Grid (sistema onde utiliza-se baterias para armazenamento da geração) e On Grid (sistema que utiliza a estrutura da concessionária local).

### On Grid (na rede)

Foi realizado o primeiro teste do sistema nos anos 90, e com isso foi detectado a capacidade que os inversores para que fossem ligados diretamente nas redes de energia. Logo, mesmo quando não há produção de energia através das placas, é possível utilizar energia da distribuidora, e quando há excesso de produção no sistema de energia fotovoltaica o cliente recebe os créditos na sua conta de luz.

Como está sendo apresentada na figura 9, através de um relógio chamado bidirecional, toda a energia captada através dos módulos, é injetada no mesmo e fazendo assim a medição que é monitorada pela concessionária e com isso fazendo o retorno para a conta de energia do proprietário do sistema. Esse sistema utiliza a rede pública ou da concessionária local, como

postes, cabeamentos, medidores de energia e todos os insumos necessários, logo, o consumo é utilizando a energia elétrica.

Os componentes de um sistema conectado à rede:

- Módulos Fotovoltaicos
- Inversor de String/Microinversor
- Estrutura de fixação
- String Box.

Juntamente com o String Box é necessário utilizar alguns dispositivos de proteção, visto que eles funcionam em corrente contínua (CC), como por exemplo:

- DPS
- Chave Seccionadora
- Disjuntor CC
- Fusível.

Como havia citado acima, é gerado um crédito na conta de energia, podendo concluir que a mesma não é zerada, pois toda a estrutura da concessionária local está sendo utilizada.

Vale ressaltar que os créditos permanecem ativos por até 60 meses. Essa utilização pode ser feita em diversos empreendimentos, desde que os mesmos tenham as Unidades Consumidoras (UC's) com o mesmo titular da geração e esteja interligado em uma única concessionária de energia.

## Off Grid

Toda a energia gerada pelos módulos ou painéis necessitará de uma ou mais baterias para que ocorra o armazenamento dessa energia.

Esse sistema tem como função o auto sustento, sendo que o sistema não será conectado a rede da concessionária local. Ele utiliza painéis solares, inversores, controladores de carga e as baterias.

As baterias devem armazenar no mínimo dois períodos completos de operação, ou seja, armazenar por no mínimo dois dias, ainda que o tempo esteja nublado ou chuvoso.

## Eficiências da geração fotovoltaica

A eficiência de um painel fotovoltaico representa o seu potencial de conversão de luz solar em energia elétrica em metros quadrados. Desse modo, quanto maior a eficiência do painel fotovoltaico, maior será a produção de energia elétrica por metro quadrado.

A eficiência informada pelos fabricantes é medida por meio de um teste que utiliza um conjunto de valores adotados internacionalmente, conhecido como Standard Test Conditions (STC), que em português significa condições padrão de teste, que diz respeito aos padrões de-

finalizados para verificar a qualidade e eficiência dos equipamentos. Existem três condições para o padrão de teste, sendo elas a temperatura da célula, que deve ser 25°C, a irradiação solar, que deve ser 1000 Watts m<sup>2</sup> e a massa do ar, que deve ser 1,5.

Existem vários fatores que determinam a eficiência de um painel fotovoltaico, tais como:

- Células fotovoltaicas: Essas células são responsáveis por converter a luz em energia elétrica, dessa forma, quanto mais eficientes forem as células fotovoltaicas utilizadas, mais eficiente será o painel.
- Ligamentos e modelagem: Os painéis fotovoltaicos apresentam áreas não ocupadas por células, tais como suas bordas, os espaços entre elas e a moldura. Devido a esse fator, a eficiência do painel fotovoltaico é sempre menor que a eficiência individual de cada uma das células.
- Tempo de uso: Os painéis perdem parte de sua eficiência de acordo com o tempo devido a diversos fatores, alguns fabricantes garantem até 80% da eficiência original ao fim de 25 anos. No entanto, quanto maior for o tempo de uso da instalação, menor será sua eficiência.

## Radiação solar

A radiação solar é uma energia luminosa que é dispensada pelo sol e chegando a terra em forma de ondas eletromagnéticas.

É de grande importância saber o nível de radiação local antes de fazer o dimensionamento do sistema, pois os módulos são fabricados e adequados a trabalharem em temperaturas aproximadas de 25°C. Quando são submetidos a temperaturas mais elevadas eles perdem parte do rendimento, portanto deve-se calcular minuciosamente o local que serão instalados.

A variação dessa energia depende vários fatores que serão listados abaixo:

- Condições atmosféricas do planeta
- Horário do dia
- Clima da região
- Localização geográfica

## Radiação solar no Brasil

Apesar de Minas Gerais ser o estado brasileiro com maior número de sistemas fotovoltaicos instalados, o estado pertencente ao Sudeste não possui o maior potencial de radiação.

O Sudeste está em 3º lugar, ficando atrás do Nordeste, que ocupa o 1º lugar e Centro-Oeste que ocupa o 2º lugar, em 4º lugar está o Norte e ocupando o 5º e último lugar, vem o Sul.

No quadro 1 estão os índices referentes à radiação nas cinco regiões do Brasil.

**Quadro 1 – Índice de Radiação no País**

REGIÃO	RADIAÇÃO GLOBAL MÉDIA
Nordeste	5,9Kwh/m <sup>2</sup>
Centro-Oeste	5,7Kwh/m <sup>2</sup>
Sudeste	5,6Kwh/m <sup>2</sup>
Norte	5,5Kwh/m <sup>2</sup>
Sul	5,2Kwh/m <sup>2</sup>

Fonte: Energeasy Solar

O aproveitamento da energia solar de um local provém da localidade em que se encontra no mapa terrestre, e o Brasil pode ser considerado privilegiado em termos de índices solares, pois se encontra próximo a linha do Equador e também em regiões de trópicos.

## METODOLOGIA

Este estudo como citado anteriormente, tem como objetivo a análise do desempenho de um sistema de micro geração fotovoltaica. A parte inicial será o levantamento de dados e características do sistema de geração, vale ressaltar que houve uma melhoria do conjunto após 4 anos. Será apresentada toda a parte que compôs o primeiro sistema de geração solar e também a parte do atual meio de geração fotovoltaica. A etapa seguinte foi a consulta do projeto do sistema de geração, de forma a se obter a capacidade de geração e desta forma permitir que o sistema seja analisado.

A próxima etapa foi a coleta das tarifas de energia da concessionária e posteriormente a análise do desempenho.

## Objeto de estudo

Sistema de microgeração fotovoltaica (FV) do tipo on grid em uma unidade consumidora RESIDENCIAL, na cidade de Muriaé-MG, concessionária local ENERGISA-MG.

**Figura 3 – Situação e Acomodação do Sistema**

Fonte: Autores (2022)

## Características da instalação

**Quadros 2 – Dados Técnicos do Sistema**

Projeto	Microgeração de Energia
Concessionária de Energia	ENERGISA
Tarifa	RESIDENCIAL BIFÁSICO
Classe	RESIDENCIAL
Tensão de Distribuição (Alimentação)	220 Vac/127 Vac
Proteção Geral	50 A
Condutores do ramal de entrada	10 mm <sup>2</sup>
Número de Fases	2
Condutores do Ramal de Ligação	2#10(10) (Áereo)
Consumo Médio Mensal	148 kWh
Potência de geração fotovoltaica	2,60 kWp
Previsão de geração fotovoltaica	304 kWh

Fonte: Autores (2022)

## Módulos fotovoltaicos

**Quadro 3 – Dados dos Módulos**

PARÂMETROS	CS6X-325P
Potência Máxima	320W
Tensão Máxima (Vmp)	36,8V
Corrente Máxima (Imp)	8,69A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,3V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,26A
Eficiência	16,68%
Temperatura de Operação	-40°C à +85°C
Tensão Máxima do Sistema	1000V (IEC) / 1000V (UL)
Corrente Máxima de Proteção (Fusível)	15 A
Classificação de Operação	Classe A
Tolerância de Energia	0 à +5W
<b>Certificado do INMETRO</b>	000581/2016

Fonte: Autores (2022)

Foram dimensionados **8 módulos FV** **arranjados em 1 inversor**, com o intuito de gerar a energia proposta e obter a tensão CC adequada para a entrada do cada inversor.

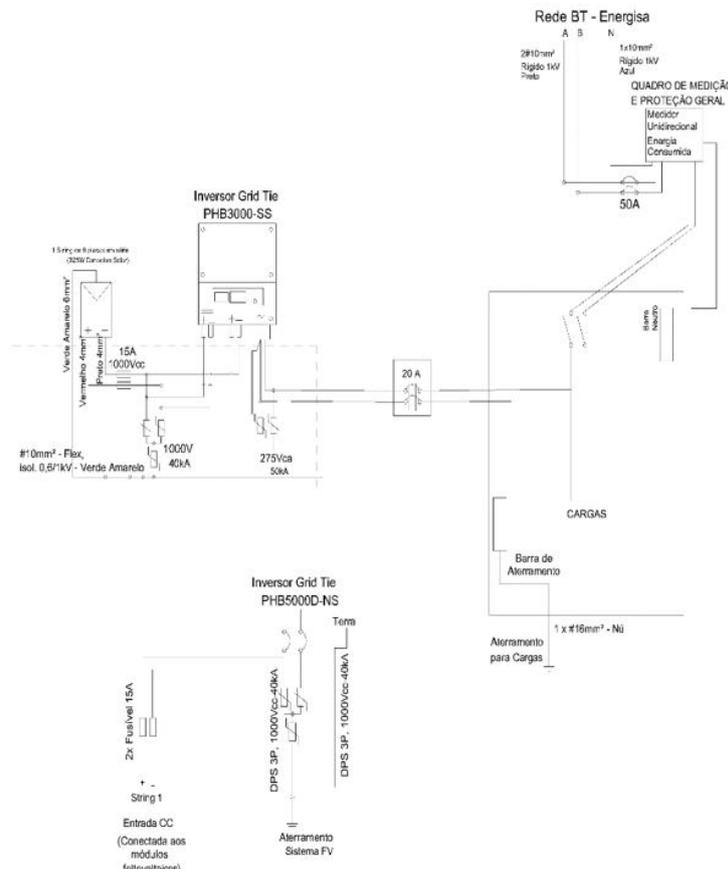
## Inversor fotovoltaico

Quadro 4- Dados do Inversor

PARÂMETROS	PHB 3000D-NS
Potência de Entrada Máxima (CC)	3.200 W
Tensão de Entrada Máxima (CC)	500 Vcc
Faixa de Operação SPMP (MPPT)	125 Vcc A 450 Vcc
Tensão CC de Partida	125 Vcc
Corrente CC Máxima	18 A
Número de Strings	2
Consumo em Standby	5 W
Potência CA Nominal	3.000 W
Corrente CA Máxima	15 A
Saída Nominal CA (Ajuste)	60Hz - 220 Vca (Fases L1 e L2 da rede bifásica)
Faixa de Proteção de Subtensão CA	187,2 Vca a 196,8 Vca
Faixa de Proteção de Sobretensão CA	264 Vca a 268,8 Vca
Frequência Nominal (Faixa)	57,5 Hz a 62,0Hz; 60,5Hz a 62,0Hz com derate
Fator de Potência	0,95 (indutivo/capacitivo)
Máxima Eficiência	97,8%
Eficiência SPMP (MPPT)	> 99,9%
Proteção de Anti-Ilhamento	≥ 2s
Retorno após Reestabelecimento (Ajuste)	180s

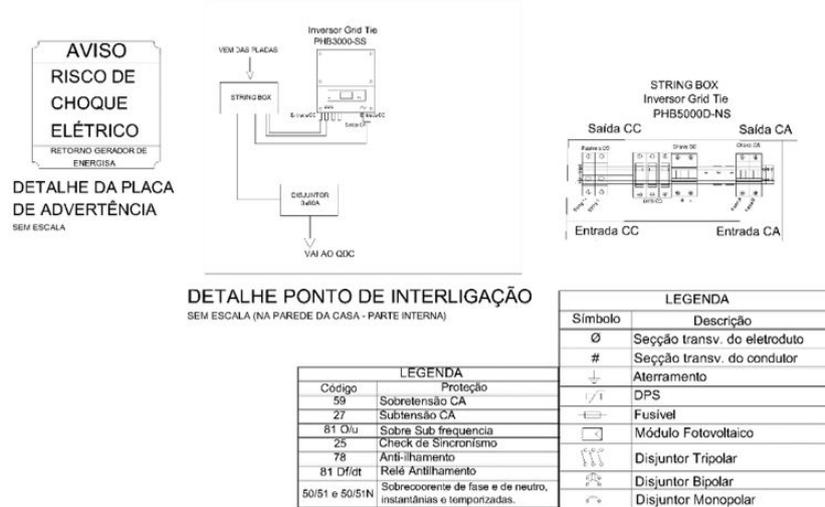
Fonte: Autores (2022)

Figura 4 - Representação dos Inversores – Quadro de Medição – Proteção e Aterramento



Fonte: Autoras (2022)

**Figura 5 - Detalhes dos Equipamentos Instalados**

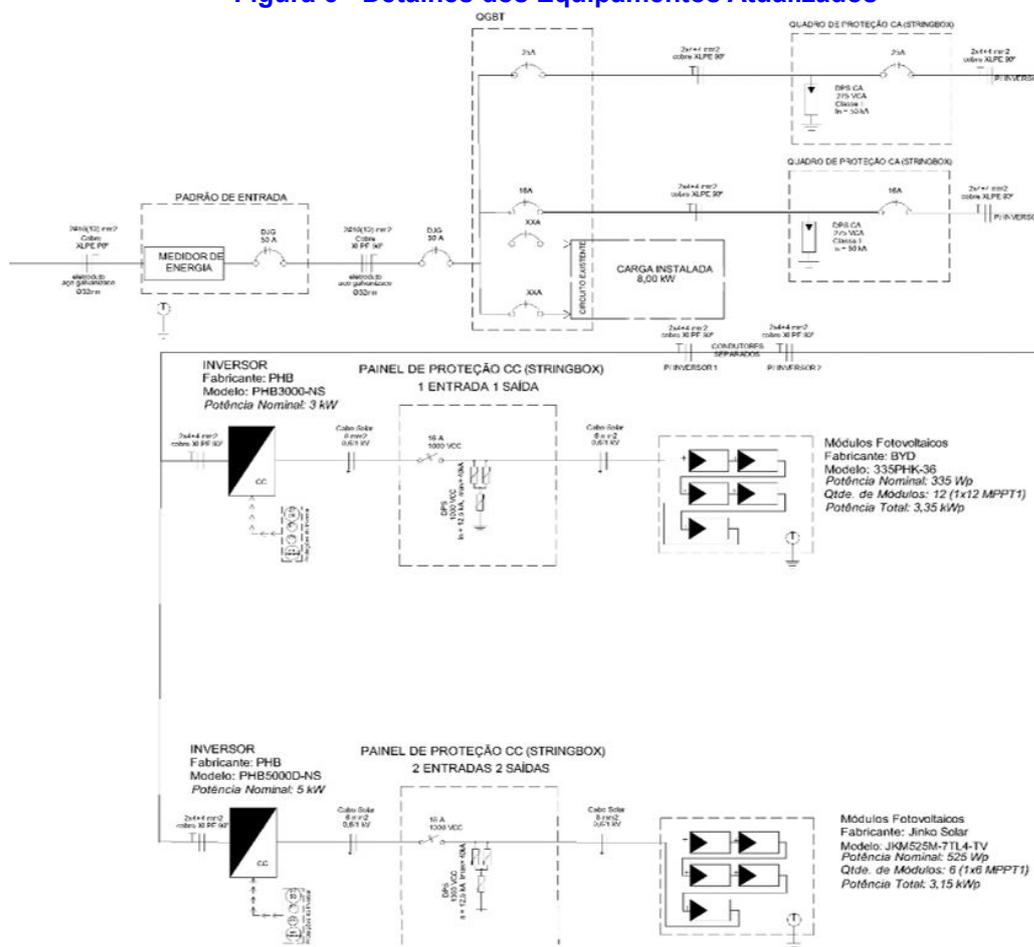


Fonte: Autores (2022)

Em janeiro de 2022 o sistema em questão teve uma ampliação, acrescentando o número de módulos fotovoltaicos e também mais um inversor.

De acordo com a Figura 6, a quantidade de módulos são 18, sendo eles, 6 com potência nominal de 525Wp e potência total de 3,15kWp conectados ao inversor de 5000 e proteção de disjuntor de 25A, e também 12 com potência nominal 335Wp e potência total de 3,35kWp conectados no inversor de 3000 e proteção de um disjuntor de 16A.

**Figura 6 - Detalhes dos Equipamentos Atualizados**



Fonte: Autores (2022)

Conforme mostra a Figura 7, os módulos fotovoltaicos estão acomodados em três fileiras, sendo a primeira fileira com 4 módulos, a segunda fileira com 8 e a terceira com 6.

**Figura 7 - Acomodação dos módulos**



Fonte: Autores (2022)

Já na Figura 8 está apresentado os dois inversores utilizado da marca PHB.

**Figura 8 - Inversores utilizados**

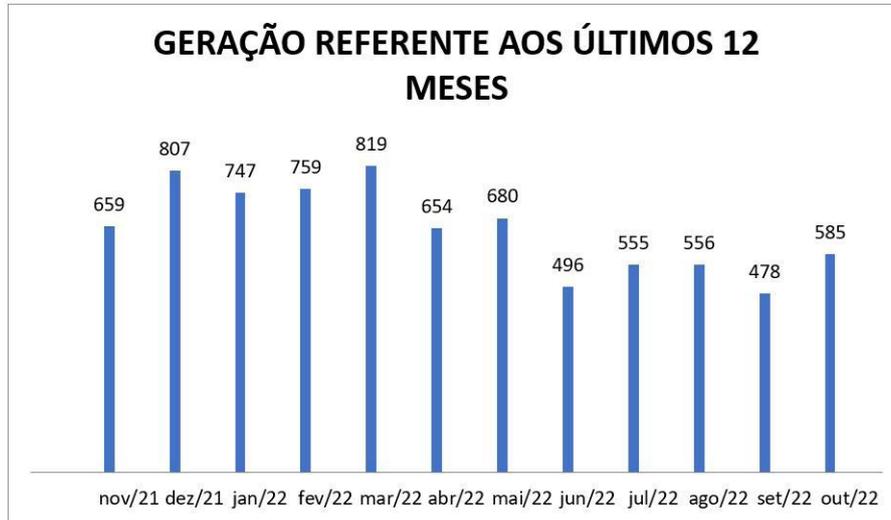


Fonte: Autores (2022)

## RESULTADOS

Como citado anteriormente, o objetivo do estudo é analisar o desempenho de um projeto de energia fotovoltaica. O projeto se mostrou eficiente e conseguiu diminuir de maneira drástica o valor da conta de energia elétrica pago a concessionária. As estações do ano e o clima são

fatores essenciais para a análise de produção das placas fotovoltaicas, que se mostram mais eficientes em meses que a irradiação solar é mais intensa no local. Nos meses que a irradiação solar é menor, como mostra no gráfico, a produção das placas diminui nos períodos de junho a setembro, mas ainda assim a economia resultada pela energia renovável se mostra presente e eficaz, o que deixa financeiramente evidente a validade do investimento em fontes limpas de energia.



Fonte: Adaptada Energisa

Figura 9 – Demonstrativo de Energia Gerada e Injetada.

**ENERGISA**  
 DEMONSTRATIVO DE COMPENSAÇÃO DA ENERGIA INJETADA REFERÊNCIA: 10/2022

Historico de Consumo		Consumo Ponta				Bruto KW
Ano/Mês	Med KWh	Injetado	Injet. Comp.	Sobra		
2022 10	207	0	585	207	378	207
2022 09	161	0	478	161	317	161
2022 08	212	0	556	212	344	212
2022 07	182	0	555	182	373	182
2022 06	166	0	496	166	330	166
2022 05	253	0	680	253	427	253
2022 04	405	0	654	405	249	405
2022 03	371	0	819	371	448	371
2022 02	262	0	759	262	497	262
2022 01	255	0	747	255	492	255
2021 12	198	0	607	198	609	198
2021 11	202	0	659	202	457	202
2021 10	202	0	302	202	100	202

Posto	Saldo Anterior	Injetado (*)	Recebido (*)	Compensado (-)	Transferido (-)	Expirado (-)	Estorno (*)	Disponível	Expiração Consumo	Ciclo
Conv	29	585	0	207	378	0	0	29	0	10/2022
PI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Itmdr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Composição e Utilização do Saldo Anterior				Discriminação das Transferências no Mês						
Mês/Ano	Posto	Saldo Anterior	Comp/Ajustado	Disponível	Expiração	Lic Comp	Conv.	Ponta	Fora Ponta	Intern.
09 2022	Conv	0	0	0	0	1280788	-378	0	0	0 10/2022
	PI	0	0	0	0					
	FPI	0	0	0	0					
	Itm	0	0	0	0					
	Itm	0	0	0	0					
02 2018	Conv	29	0	29	0					
	PI	0	0	0	0					02/2023
	FPI	0	0	0	0					
	Itm	0	0	0	0					

Atenciosamente,

ENERGISA MINAS GERAIS-DISTRIB.ENERGISA SA  
 www.energisa.com.br  
 0800 032 0196 - CENTRAL DE SOLUÇÕES  
 CATAGUASES, 20 de Outubro de 2022

Fonte: Energisa – MG

## REFERÊNCIAS

AMBIENTEBRASIL. Histórico das Células Fotovoltaicas e a Evolução da Utilização de Energia Solar. Disponível em: [https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia\\_solar/historico\\_das\\_celulas\\_fotovoltaicas\\_e\\_a\\_evolucao\\_da\\_utilizacao\\_de\\_energia\\_solar.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_fotovoltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html). Acesso em: 26 mar. 2022.

ANEEL (Brasília). Breve Histórico da Regulação Antes da ANEEL. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/home?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_assetEntryId=14468831&\\_101\\_type=content&\\_101\\_urlTitle=historico-da-aneel&inheritRedirect=true](https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=14468831&_101_type=content&_101_urlTitle=historico-da-aneel&inheritRedirect=true). Acesso em: 25 mar. 2022.

BRITO, Sérgio de Salvo. ENERGIA SOLAR PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. São Paulo: Cepel, 2017. 28 p. Disponível em: [http://paineira.usp.br/sisea/wp-content/uploads/2020/02/Tutorial\\_solar-CRESESB-MatrizLimpa.pdf](http://paineira.usp.br/sisea/wp-content/uploads/2020/02/Tutorial_solar-CRESESB-MatrizLimpa.pdf). Acesso em: 25 mar. 2022.

DESCONHECIDO (Brasil) (ed.). Diferenças entre os sistemas on grid e off grid de energia solar. Não informado, 2020. Disponível em: [https://blog.intelbras.com.br/diferencas-entre-os-sistemas-on-grid-e-off-grid-de-energia-solar/?gclid=EAlaIqobChMI8uypo8G39wIVOBvUAR2fGgK\\_EAAYAiAAEgKU4fD\\_BwE](https://blog.intelbras.com.br/diferencas-entre-os-sistemas-on-grid-e-off-grid-de-energia-solar/?gclid=EAlaIqobChMI8uypo8G39wIVOBvUAR2fGgK_EAAYAiAAEgKU4fD_BwE). Acesso em: 25 abr. 2022.

DESCONHECIDO (Brasil) (ed.). Energia Solar no Brasil. Não informado, 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 28 abr. 2022.

DESCONHECIDO (Brasil) (org.). Fontes de Energia: de onde vem a energia que nós utilizamos? A energia pode ser obtida a partir da transformação de variados recursos, que podem ter origens diversas. Brasília, disponível em: De onde vem a energia que nós utilizamos? A energia pode ser obtida a partir da transformação de variados recursos, que podem ter origens diversas. Acesso em: 28 abr. 2022.

DESCONHECIDO. História e origem da Energia Solar. 2015. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar?q=/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html&>. Acesso em: 25 mar. 2022.

NASSA, Thiago; MORAES, Siqueira de; MEYER, Rodolfo; CASARIM, Ricardo; GIOVANNA, Rafaela; SOLAR, Portal; MEYER, Fred; PINHEIRO, Cristiane; VIALI, Andrea; DORANTE, Adriana. Hidrelétrica ainda representa 70% da matriz elétrica nacional. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/hidreletrica-ainda-representa-70-da-matriz-eletrica-nacional.html#:~:text=Quase%2070%25%20da%20energia%20produzida,altos%20potenciais%20hidr%C3%A1ulicos%20do%20planeta..> Acesso em: 25 mar. 2022.

DESCONHECIDO. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES. Não informado. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 03 jun. 2022.

ENERGISA. NTD - 013: NORMA TÉCNICA DE DISTRIBUIÇÃO - NTD 13. 1.1 ed. Muriaé, 2016. 58 p. Disponível em: [https://www.energisa.com.br/Documents/pdfs/ntd/ntd\\_013\\_ess.pdf](https://www.energisa.com.br/Documents/pdfs/ntd/ntd_013_ess.pdf). Acesso em: 02 jun. 2022.

MARKETING. Como a radiação solar é utilizada na energia solar? 2021. Energeasy Solar. Disponível em: <https://energeasysolar.com.br/como-a-radiacao-solar-e-utilizada-na-energia-solar/#:~:text=A%20radia%C3%A7%C3%A3o%20solar%20%C3%A9%20um,regi%C3%A3o%20e%20tamb%C3%A9m%20localiza%C3%A7%C3%A3o%20geogr%C3%A1fica>. Acesso em: 02 jun. 2022.



# Analizador de energia elétrica

---

Leonardo Filipe Serafim

*IFSC(Instituto Federal de Santa Catarina)*

Gabriel Farias Grumiche

*IFSC(Instituto Federal de Santa Catarina)*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.4

## RESUMO

A proposta deste trabalho é desenvolver um medidor de fator de potência através de sensores de corrente e tensão elétrica. Obtendo essas grandezas elétricas a partir do arduino, o qual será o responsável por processar essas informações e fornecer o fator de potência em uma página da web criada a partir do ethernet shield.

**Palavras-chave:** fator de potência. medidor. potência.

## INTRODUÇÃO

Iniciativas de eficiência energética que visam a redução e monitoramento do consumo, e a qualidade da energia recebida podem adiar a construção de novas centrais de geração elétrica. Sendo assim, além de uma redução da necessidade de investimentos, é possível obter uma redução na emissão dos gases do efeito estufa que seriam emitidos por essas centrais elétricas, supondo que a expansão ocorra por meio de usinas baseadas em insumos não renováveis. Para combater a mudança climática, o Painel Intergovernamental Para a Mudança Climática (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) calcula que a emissão de gases do efeito estufa no setor energético deve ser reduzidas em 90%, comparadas às emissões de 2010, entre os anos de 2040 e 2070 (WERFF; THOGERSEN; BRUIN, 2018). Utilizando-se das novas tecnologias em sensores e microcontroladores podemos fabricar medidores de consumo e de fator de potência com menor custo. Além de disponibilizar os resultados na plataforma WEB em tempo real e armazenamento de dados através de nuvem. Por uma necessidade de melhorar a qualidade de energia e a facilidade do aprendizado em sistema microcontrolado o número de trabalhos relacionados a este tema tem aumentado.

O objetivo deste trabalho é a necessidade da realização de um protótipo com a finalidade de baratear o custo do medidor de fator de potência monofásico. Em conjunto com essa carência traz-se também a oportunidade de desenvolver e relacionar habilidades relacionadas à área do curso de engenharia elétrica. O projeto é processado e controlado pelo arduino que é um microcontrolador muito utilizado em sistemas de protótipo, que terá função de armazenar e relacionar dados, que serão medidos com o sensor de tensão ZMPT-101B e sensor de corrente SCT-013-030, a fim de se obter o resultado do fator de potência em uma página na web com um módulo ethernet W5100.

## METODOLOGIA

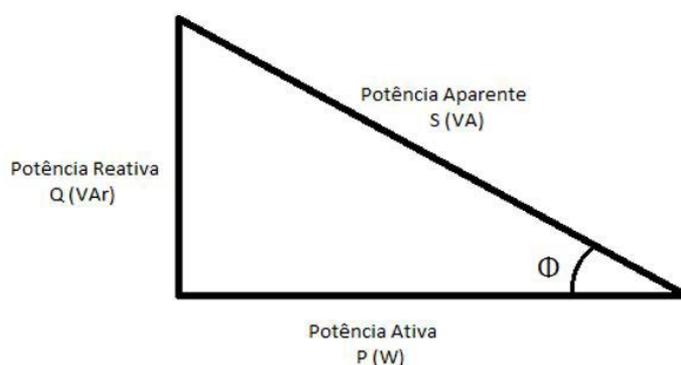
Conforme descrito na introdução, este projeto é um dispositivo que utiliza componentes disponíveis no mercado a fim de diminuir o custo para fabricação um medidor de Fator Potência. O sistema é formado por diversos componentes trabalhando em conjunto, sendo cada um responsável por tarefas específicas. Seu desenvolvimento tem caráter experimental, contemplando o projeto de um protótipo para medição e a programação dos firmwares e códigos fontes das aplicações necessárias.

A teoria deste trabalho foi embasada através de artigos científicos, trabalhos de conclu-

são de curso e artigos técnicos, que estes tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido neste estudo. Através destas pesquisas para realização deste projeto, verificamos que existem diversos trabalhos para realizar a medição da corrente, consumo da energia e potência ativa do circuito, contudo estes projetos utilizam da fixação de uma tensão de rede fazendo com que as medições de potência e consumo não fiquem corretas. Neste trabalho utilizaremos sensor de tensão e corrente para que as medições fiquem extremamente confiáveis.

Para o cálculo do FP utilizaremos o conceito do triângulo das potências. Na elétrica existem 3 potências ativa, reativa e aparente. Podemos definir a potência elétrica como a velocidade com que um trabalho é realizado, ou seja, é a velocidade que algo utiliza para transformar energia elétrica em outro tipo de energia. A potência ativa é a potência que realiza trabalho útil em uma determinada carga, onde a sua unidade de medida é o watt (W). Podemos dizer que potência reativa representa a parte da potência que é aplicada para as cargas capacitivas e indutivas, esta potência não realiza trabalho efetivo. Sua unidade de medida é volt ampère reativo (VAr). A potência aparente na é a soma vetorial da potência ativa com a potência reativa. A unidade de medida da potência aparente é o volt ampère (VA). A (figura 1) mostra como estão relacionadas sob o triângulo das potências. O fator de potência (FP) é um índice que relaciona a energia ativa e reativa de uma instalação elétrica, sendo um dos principais indicadores de eficiência energética. Quando próximo a 1 indica pouco consumo de energia reativa em relação à energia ativa.

Figura 1 - Triângulo das Potências.



Fonte: [engeletrica.com](http://engeletrica.com).

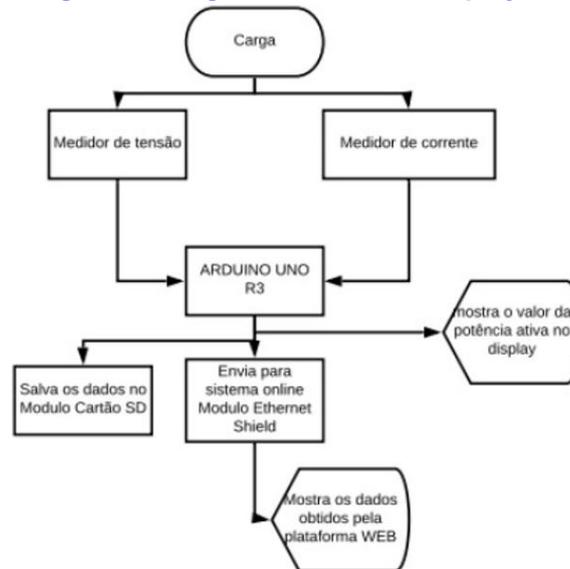
Após o aprofundamento dos conhecimentos na teoria envolvida e nos medidores existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para

validação de seu funcionamento e coleta de dados para discussão dos resultados. Com a finalidade de facilitar o entendimento ao expor a integração esperada entre os sistemas que serão desenvolvidos, será apresentado uma descrição técnica.

## DESCRIÇÃO TÉCNICA DO PROTÓTIPO

Para a construção deste projeto definiu-se alguns materiais que serão essenciais para o funcionamento do mesmo. Após algumas pesquisas, o sensor de Corrente SCT-013 e de tensão ZMPT-101B disponível no mercado são de confiança e ficou decidido pela compra destes. Utilizaremos o Módulo Ethernet Shield para visualização dos dados recebidos em plataforma web. A seguir mostraremos um diagrama de blocos para mostrar a ordem do projeto.

**Figura 2 - Diagrama de blocos do projeto.**



**Fonte: Os autores.**

Após o diagrama de blocos segue fazendo a calibragem dos sensores de tensão e de corrente. O sensor de tensão conforme observado na (Figura 3) tem um trimpot por onde consegue fazer a regulagem da tensão. No script da IDE do arduino utilizamos **emon1.voltage(2, 221.6, 1.7)**, que 2 é o pino da entrada do Arduino, 221.6 é a tensão de rede que fornece 1 V na entrada ADC e

1.7 sendo a correção para os erros de fase nos transformadores e o erro de tempo entre a tensão de amostragem e a corrente. É difícil de calcular, é melhor configurá-lo em teste com o auxílio de um multímetro.

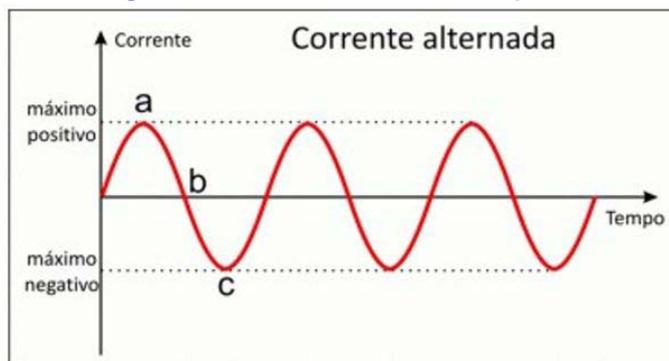
**Figura 3 - Sensor ZMPT-013.**



**Fonte: Baú da eletrônica.**

Depois de calibrar o sensor de tensão, seguimos para o SCT-013-030 de corrente onde a calibragem deste é somente por IDE arduino **emon1.current(1, 39.36)**, onde 1 é o pino de entrada do arduino e 39.36 é a corrente de rede que fornece 1 V na entrada ADC. Para o SCT-013-030 deve-se fazer um divisor de tensão com dois resistores iguais para dividir por igual e utilizar um capacitor para dar um offset no sinal fazendo com o ponto médio de tensão seja 2,5v e os picos sejam de 5v e 0v como descrito na (Figura 4).

**Figura 4 - Gráfico corrente x tempo**



Fonte: Os autores.

Com os sensores devidamente calibrados e regulados seguimos fazendo os testes do projeto a fim de se obter os resultados propostos e analisar esses dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o protótipo já montado temos os valores de tensão e corrente nas figuras a seguir, fazendo um comparativo entre a diferença dos dados obtidos pelo wattímetro e dos sensores no arduino chegamos que existe um erro de apenas 0,75% sendo muito pequeno levando em consideração que o wattímetro era confiável e tem sua inspeção e aferição regularmente. o Wattímetro que utilizamos para checagem de dados era da marca ICEL modelo AW-4700 produzido no Brasil. A carga utilizada foi um motor WEG Trifásico  $\frac{3}{4}$  CV.

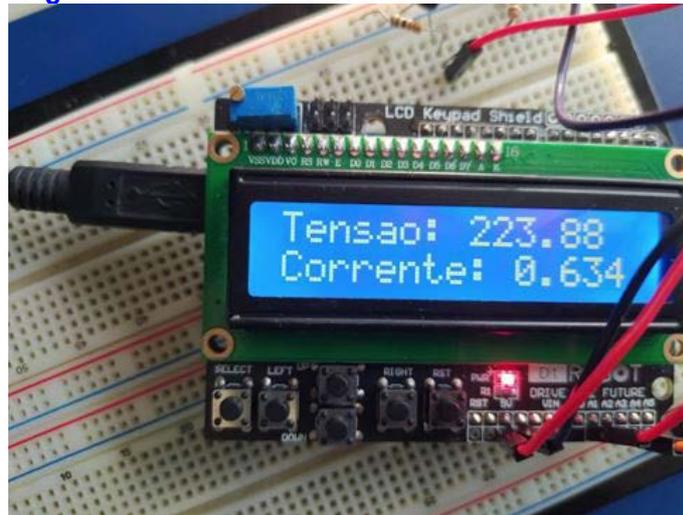
**Figura 5 - Medidas de corrente e tensão no Wattímetro digital ICEL modelo AW-4700.**



Fonte: Os autores

A variação do sensor de corrente em relação ao do wattímetro ficou em 4,76% dentro da faixa de 5% sendo assim uma medida confiável, os valores de corrente e tensão analisadas pelo Wattímetro podem ser visto na (Figura 5), enquanto os valores obtidos através do nosso sistema na (Figura 6).

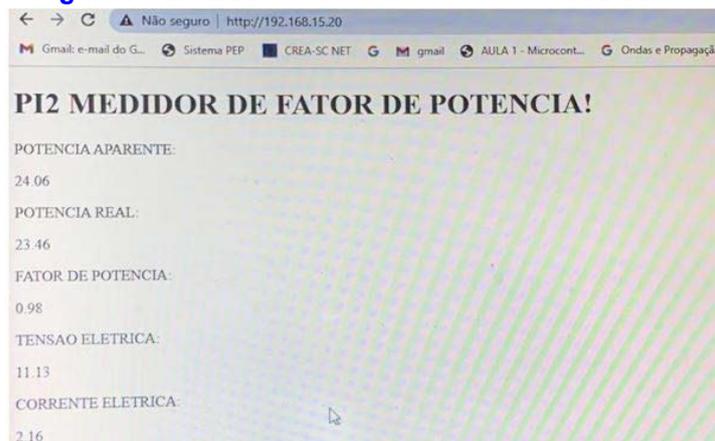
**Figura 6 - Medidas de corrente e tensão no Arduino.**



Fonte: Os autores

Os resultados da tensão, corrente, FP, e das potências recebida pelo sistema pode ser visto em tempo real pelo sistema WEB que foi implementado utilizando o Ethernet Shield w5100. A (Figura 7), mostra esses dados obtidos para uma tensão de rede 12V.

**Figura 7 - Medidas de corrente e tensão no Arduino.**



Fonte: Os autores

Por fim concluímos que o sistema montado se comportou como o esperado e teve resultados que se mostraram interessantes, no sentido de que um analisador de FP custa em torno 5 vezes mais do que o projeto atual.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos Resultados obtidos em laboratório verificou-se que é interessante a utilização destes sensores e microcontroladores para o uso em campo para verificar o FP e as potências de rede. Por fim pretendemos levar adiante este trabalho fazendo a continuação de um medidor de FP com a correção através de um banco de capacitores e que ele seja trifásico. Podendo até fazer um aplicativo para que tenha acesso ao histórico de consumo e de FP da rede comercial e industrial.

Com isso pretende-se não somente baixar o custeamento do medidor de fator de potência, mas ir mais a fundo na análise da eficiência energética em estudos posteriores.

## REFERÊNCIAS

THOMSEN, Adilson. 2015. Como Fazer um Medidor de Energia Elétrica com Arduino. Disponível em: <<http://blog.filipeflop.com/arduino/medidor-de-energia-eletrica-com-arduino.html/>>. ACESSO EM 20 FEVEREIRO 2022.

DEMETRAS, Ezequiel. 2017. SCT-013. Sensor de Corrente Alternada com Arduino. Disponível em : <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/>>. ACESSO EM 23 DE FEVEREIRO DE 2022.

IARONKA, Odair José. 2019. Projeto e Desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Monitoramento de Energia Elétrica para Residências.. Disponível em: <[https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/268/2019/08/TCC2\\_Odair\\_Final.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/268/2019/08/TCC2_Odair_Final.pdf)>. ACESSO EM 04 DE MARÇO DE 2022

VIDAL, Vitor. 2018. Ethernet Shield W5100 com Arduino.. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/ethernet-shield-w5100-com-arduino/>>. ACESSO EM 06 DE MARÇO DE 2022.

BRITO, João Luiz. 2016. Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino. Disponível em: <[http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016\\_JoaoLuisGrizinskyBrito.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016_JoaoLuisGrizinskyBrito.pdf)>. ACESSO EM 10 DE MARÇO DE 2022.



# **A fruticultura brasileira frente ao comercio internacional**

## **Brazilian fruit growing in relation to international trade**

---

Laysa Lorena Silva de Santana

*Estudante de Medicina Veterinária – Universidade Salvador – UNIFACS, Campus Professor Barros – Ba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5252-9086>*

Leticia Santana Guimarães

*Medica Veterinária – Formada pela Universidade UNIME – UNIFACS, Lauro de freitas – Ba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8074-1022>*

Lívia Carla Portugal dos Santos

*Estudante de Medicina Veterinária – Centro Universitário de tecnologia e ciência UNIFTC – UNIFTC, Campus Paralela- Ba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5495-7543>*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.5

## RESUMO

A fruticultura brasileira consiste em uma das atividades de maior importância para o agronegócio brasileiro e por consequência para a economia nacional. O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção de frutas, ficando atrás apenas da China e da Índia, isso ocorre devido à grande extensão territorial que permite maiores áreas de cultivo e mais espécies. Dentro do exposto o país é considerado um grande exportador desses cultivos, em especial para o mercado europeu, devido à grande variedade de espécies cultivadas no território nacional. Porém alguns pontos negativos afetam diretamente o processo de comercialização das frutas brasileiras, esses entraves são em sua grande maioria barreiras não tarifárias ou mesmo problemas em uma logística deficitária que agregam maiores valores ao preço do produto final fazendo com que muitas vezes ocorra uma redução no mercado consumidor.

**Palavras-chave:** exportação. barreiras fitossanitárias. transporte. sanidade. frutas tropicais.

## ABSTRACT

Brazilian fruit growing is one of the most important activities for Brazilian agribusiness and, consequently, for the national economy. Brazil occupies the third place in the world ranking of fruit production, behind only China and India, this is due to the large territorial extension that allows larger areas of cultivation and more species. Within the above, the country is considered a major exporter of these cultivars, especially to the European market, due to the large number of species cultivated in the national territory. However, some negative points directly affect the process of commercialization of Brazilian fruits, these obstacles are mostly non-tariff barriers or even problems in a deficient logistics that add greater values to the price of the final product, often causing a reduction in the consumer market.

**Keywords:** export. phytosanitary barriers. transport. sanity. tropical fruits.

## INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2019), a fruticultura consiste em uma atividade de grande importância para o agronegócio brasileiro assim como para a economia nacional. Isso se deve a quantidade de empregos que são gerados através dos três milhões de hectares cultivados em todo o território brasileiro. Os primeiros registros das atividades de fruticultura no Brasil são oriundos do período colonial, quando dentro das capitânicas eram cultivadas frutas até então exóticas para o consumo dos colonos como, por exemplo, maçã, uvas, manga entre outras. Atualmente o Brasil ocupa o terceiro lugar como o maior exportador de frutas no ranking mundial, ficando atrás somente da China e da Índia (FAO, 2016), esse feito se deve ao território em tamanho continental que permite que sejam cultivadas inúmeras espécies para atender e suprir as demandas do mercado consumidor. Porém alguns pontos são considerados entraves no processo de expansão das frutas brasileiras, em especial as barreiras não tarifárias e a logística precária, tais pontos fazem com que muitas vezes altos valores de custos sejam agregados ao produto e dessa forma por muitas vezes esses produtos não são consumidos e assim descartados.

## Panorama atual

A fruticultura consiste em uma ciência a qual se privilegia o cultivo de plantas frutíferas com o objetivo de obter frutos comestíveis para o comércio, diante disso são utilizadas diversas técnicas com o objetivo de reduzir os custos de produção e aumentar os lucros. No cenário atual a fruticultura se caracteriza como um dos segmentos que vem obtendo cada vez mais destaque no cenário do agronegócio brasileiro. (FERREIRA *et al.*, 2009)

Segundo os dados presentes na confederação da agricultura e pecuária do Brasil, essa atividade vem ocupando a terceira posição em relação aos países produtores de fruta, sendo que o país produziu no ano de 2019 cerca de 43 milhões de toneladas de frutas cultivando em uma área equivalente a 3 milhões de hectares, diante disso essa atividade foi responsável por gerar cerca de milhões de empregos e renda para inúmeras famílias, conforme o exposto tem se o conhecimento de que grande parte da produção é destinada para a exportação, dentre os mercados importadores o mais forte é a União Europeia sendo responsável 70% das exportações, em segundo lugar acompanha os Estados Unidos e uma quantidade segmentada de vários países latino americanos. (FERREIRA *et al.*, 2009)

Atualmente o setor produtivo de fruticultura é bastante diversificado determinando que características únicas de cada cultivar é responsável por determinar que o comportamento do consumidor perante o cenário crescente de incertezas que vem permeando o país desde o início da pandemia de Sars-Cov-2. Ademais, a literatura demonstra que as demandas no mundo pelas frutas foram superiores em cerca de 20% no mesmo período em relação ao ano de 2020. Entre as maiores áreas de cultivo se encontra o Nordeste brasileiro responsável por cerca de 52% da produção nacional, seguido então pela região sudeste com 26% com destaque na produção de citros (VIDAL, 2021)

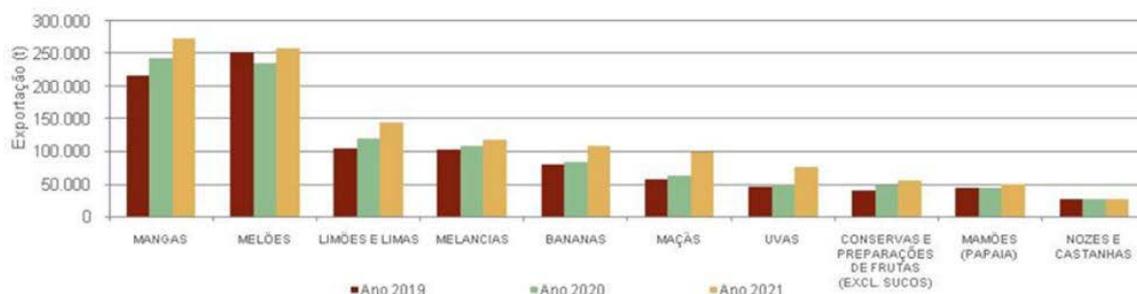
Conforme os dados expressos no portal do MAPA (2022) a exportação brasileira alcançou um recorde histórico sendo superiores a US\$ 1,21 bilhão cerca de 20,39% superior ao que foi registrado em dezembro do ano anterior. Dentre as frutas mais exportadas para o mercado exterior destaca se as mangas com cerca US\$ 248 milhões, seguido pelos melões com a participação de cerca de US\$ 165 milhões e então as uvas com cerca de US\$ 155,9 milhões. Os principais destinos dessas cultivares foram os mercados da União Europeia com cerca de 48% seguido pelos Estados Unidos (16%), Reino Unido (14%) Argentina e Canada (3%).

Conforme explicitado pelo diretor de Política Agrícola e informações da Conab, Sergio de Zen, esse aumento nas exportações ocorreu devido a uma alta demanda internacional em conjunto de outros fatores como um clima favorável para a produção de inúmeras culturas, fazendo com que as vendas de frutas ultrapassassem a marca de cerca de 1 milhão de toneladas. Ademais, o diretor ainda ressaltou que esse novo recorde se deu devido à recuperação dos mercados já existentes, assim como a abertura de novos mercados.

Para efetividade para acompanhar o mercado, é necessária a visão e entendimento da empresa como um conjunto, que vai desde o transporte até as redes técnicas envolvimento no processo de exportação. Conforme a citação de Castillo e Frederico (2010, p.18), “partimos da concepção de que a competitividade não é um atributo circunscrito às empresas ou aos produtos no período da globalização, mas designa também uma condição dos lugares e regiões”. Além disso, para Bezerra (2017, p.105), “O desenvolvimento de modernas tecnologias de transporte

e logística associadas ao maior consumo de frutas no mundo possibilitou o fortalecimento desta atividade como um setor chave para o processo de internacionalização das redes de produção agroalimentar.”.

Figura 01 - gráfico de exportação de frutas brasileiras. Fonte: (MAPA, 2022)



Conforme demonstrado na tese de Pinheiro (2021), o volume total das frutas que foram exportadas no mês de janeiro de 2021 foi o total de cerca de 84,91 toneladas cerca de 5,06 % abaixo do mesmo mês no ano interior. Porém a autora destaca que nesse período ocorre um crescimento na exportação de frutas como melancias, mangas e ocorre concomitantemente uma redução na exportação de citros, banana e mamão conforme apresentado pela tabela da ABRASFRUT abaixo.

Figura 02 - tabela da produção de frutas da ABRASFUT (ABRASFRUT, 2021)

ABRAFRUTAS Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados						
Comparativo mensal de exportação de frutas						
Mês: Janeiro de 2020 - Janeiro de 2021						
Frutas	janeiro-20		janeiro-21		Variação	
	Valor(US\$)	Peso (Kg)	Valor(US\$)	Peso (Kg)	Valor(US\$)	Peso (Kg)
MELÕES	\$ 22.888.041,00	37.634.674	\$ 24.023.347,00	37.029.405	5%	-2%
MANGAS	\$ 7.877.356,00	7.035.141	\$ 7.445.129,00	7.620.890	-5%	8%
MELANCIAS	\$ 5.872.609,00	13.471.633	\$ 6.699.080,00	14.220.733	14%	6%
LIMÕES E LIMAS	\$ 8.809.818,00	11.254.878	\$ 6.567.557,00	8.418.833	-25%	-25%
CONSERVAS E PREPARAÇÕES DE FRUTAS (EXCL. SUCOS)	\$ 5.152.485,00	2.817.309	\$ 3.791.330,00	2.002.919	-26%	-29%
MAMÕES (PAPAIA)	\$ 4.179.548,00	4.223.789	\$ 3.745.765,00	3.786.089	-10%	-10%
BANANAS	\$ 2.227.998,00	7.782.484	\$ 2.381.995,00	6.025.834	7%	-23%
UVAS	\$ 2.141.984,00	842.849	\$ 2.204.638,00	950.627	3%	13%
OUTRAS FRUTAS	\$ 1.434.027,00	1.044.393	\$ 1.415.859,00	774.839	-1%	-26%
FIGOS	\$ 705.752,00	169.589	\$ 609.797,00	169.310	-14%	0%
PÊSSEGOS	\$ 188.208,00	186.431	\$ 412.199,00	431.331	119%	131%
ABACAXIS	\$ 77.101,00	73.801	\$ 191.012,00	351.458	148%	376%
ABACATES	\$ 261.022,00	143.149	\$ 168.484,00	101.231	-35%	-29%
<b>LARANJAS</b>	<b>\$ 25.283,00</b>	<b>31.547</b>	<b>\$ 145.602,00</b>	<b>611.461</b>	<b>476%</b>	<b>1838%</b>
MAÇÃS	\$ 50.295,00	25.045	\$ 124.466,00	102.950	147%	311%
GOIABAS	\$ 23.289,00	9.365	\$ 58.979,00	22.895	153%	144%
COCOS	\$ 34.724,00	43.376	\$ 21.420,00	28.306	-38%	-35%
PÊRAS	\$ 19.232,00	8.003	\$ 12.130,00	4.936	-37%	-38%
TAMARAS	\$ 3.495,00	1.130	\$ 10.800,00	2.509	209%	122%
KIWIS	\$ 15.833,00	4.299	\$ 8.386,00	2.489	-47%	-42%
MORANGOS	\$ 24.223,00	14.955	\$ 7.734,00	1.614	-68%	-89%
TANGERINAS, MANDARINAS E SATOSUMAS	\$ 5.266,00	4.044	\$ 5.410,00	3.854	3%	-5%
CEREJAS	\$ 11.439,00	1.796	\$ 2.060,00	225	-82%	-87%
AMEIXAS	\$ 416,00	86	\$ 1.999,00	344	381%	300%
POMELOS	\$ 4.096,00	1.308	\$ 1.173,00	326	-71%	-75%
DAMASCOS	\$ 492,00	54	\$ 284,00	39	-42%	-28%
CAQUIS	\$ 41,00	32	\$ 45,00	16	10%	-50%
MANGOSTOES	\$ 152,00	140	\$ 32,00	50	-79%	-64%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 62.034.225,00</b>	<b>86.825.300</b>	<b>\$ 60.056.712,00</b>	<b>82.665.513</b>	<b>-3%</b>	<b>-5%</b>
FONTE: MAPA - AGROSTAT/MAPA ELABORAÇÃO: ABRAFRUTAS	Valor(US\$)	Peso (Kg)	Valor(US\$)	Peso (Kg)	Valor(US\$)	Peso (Kg)
	janeiro-20		janeiro-21		Variação	

O início da fruticultura brasileira aconteceu no período do Brasil Colonial, com o cultivo de frutas exóticas de clima temperado foram introduzidas no país com a chegada dos colonizadores europeus, sendo registrado em documentos históricos a presença dessas cultivares na expedição colonizadora de Martin Afonso de Souza durante os anos de 1531 e 1532, ademais junto a essas cultivares foram introduzidos também a cana de açúcar e o trigo. Durante as últi-

mas cinco décadas o cultivo das frutíferas de clima temperado se distribuiu por todas as regiões do Brasil, aos quais os melhores resultados foram alcançados após os anos 50 quando os produtores foram estimulados a investirem em sua produção. (BARBOSA e PIO, 2013)

Entre os anos 1930 e 1950 essas frutas ainda eram muito importadas devido à dificuldade para cultivá-las em solo nacional. A partir dos anos 50 foram realizadas algumas pesquisas que por fim geraram diferentes formas de cultivo para as macieiras, videiras e pereiras nessa região. Durante a década de 60 demais pesquisas passaram a ser realizadas fazendo com que houvesse um crescimento exponencial na fruticultura brasileira. (Rosa, 2018)

## Comparação dos demais países da América Latina

Em relação aos demais países exportadores de frutas na América Latina, a Argentina possui um lugar destaque no ramo das importações, a comparação dos volumes de exportação das duas últimas safras demonstrando que no ano de 2020 cerca de 56.325 toneladas foram embarcadas contra as 138.193 toneladas exportadas no ano anterior.

Conforme mencionado por Bendini (2005), esse crescimento só foi possível pelo aumento dos produtos agrícolas em especial o aumento da produção de frutas e hortaliças frescas. A Argentina se caracteriza pela presença de uma produção dinâmica não apenas de frutas e hortaliças assim como outras atividades agropecuárias.

Ademais segundo a tese de Antunes (2013), a Argentina se destaca principalmente na produção de pequenos frutos como, por exemplo, morangos e framboesas, frutas características de regiões de climas mais temperados. Atendendo em especial países da América do Norte países como os Estados Unidos e o Canadá. Em relação a essa demanda das frutas, o Brasil ocupa apenas o 3º lugar no ranking de exportação, sendo produzido apenas o morango.

## Barreiras geográficas

Entre os entraves para a exportação de frutas e outros alimentos brasileiros para os demais mercados internacionais são as barreiras tarifárias, essas consistem em quaisquer restrições relacionadas a restrição de comércio através de impostos e quotas tarifárias que são aplicáveis na importação e exportação desses alimentos. Com base na tese de SILVA (2020), essas barreiras são regulamentadas por meio do Acordo Geral e Comércio (GATT) criado em 1947, esse acordo possui com principal propósito manter o equilíbrio entre os mercados através de políticas aduaneiras entre os Estados. Diante disso os princípios fundamentais são pautados em manter o equilíbrio e o mínimo de equidade entre as nações, dessa forma garantindo então a projeção da economia mundial fundamentada em políticas de igualdade e transparência.

Essas tarifas conforme Silva *et al.* (2016), as barreiras comerciais são a forma mais comum utilizada por um país com o intuito de preservar a sua economia e os seus distintos efeitos, uma vez que os produtores se beneficiam, porém, os consumidores não obtêm a mesma vantagem, já que pagam preços mais elevados pelos produtos.

Um exemplo do uso dessas barreiras sanitárias está presente no caso do comércio de frutas na União Europeia, esse bloco econômico apresenta uma série complexa de sistemas de cotas e sobretaxas conforme a procedência do cultivar, fazendo com que pequenos produtores latinos americanos sintam se prejudicados. Um dos principais entraves em relação à exporta-

ção de frutas no mercado brasileiro possui relação com a qualidade das cultivares com relação aos padrões dos mercados internacionais. Hodiernamente os principais consumidores de frutas nacionais são muito exigentes com relação a sua qualidade, diante da ausência da mesma e da falta de adequação aos padrões exigidos há uma perda no mercado consumidor internacional. (PASSONI *et al.*, 2006)

Segundo a tese de Costa e Alcântara (2006), outro grande entrave no processo de expansão da fruticultura está relacionado com as barreiras não tarifárias, em especial aquelas de caráter técnico e fitossanitário tais mecanismos de proteção acabam afetando diretamente o volume de frutas que são exportadas para o comércio internacional. Os autores apresentam em sua tese que a justificativa para a existência dessas barreiras possui relação com a necessidade de reduzir os riscos e mitigar as incertezas no setor.

Ainda conforme a tese de Costa e Alcântara (2006), essas barreiras são baseadas em normas e regulamentos técnicos sanitários e fitossanitários aos quais são impostos aos produtos de importação tanto de origem animal quanto de origem vegetal com o intuito de proteger a saúde humana de possíveis patógenos ou químicos presentes nesses produtos finais. Dessa forma determina-se que algumas situações como a falta de transparência das normas, imposição de procedimentos dispendiosos e o uso de regulamentos excessivamente rigorosos podem ser considerados barreiras para a comercialização das cultivares.

Segundo o que foi apontado na tese de Passoni (2006) países como os Estados Unidos instituíram no ano de 2002 uma lei de bioterrorismo ao qual exigem que todas as empresas que produzem, processem, embalem ou armazenam esses alimentos que são destinados ao consumo humano devem apresentar informações atualizadas e devem apresentar registros junto ao governo além da necessidade de manter essas informações sempre atualizadas.

Outro grande entrave bastante presente dentro do mercado exportador de frutas brasileiras, está relacionado ao processo complicado de logística e transporte desses produtos. Segundo Oliveira Filho *et al.* (2008), os custos de logística presentes no comércio de frutas chegam a agregar cerca de 35% ao valor final do produto, uma vez que os custos de logísticas são altos e dispendioso devido à ausência de uma malha ferroviária assim como na precariedade presente nas estradas por todo o país. Ademais, existem duas formas de ocorrer o transporte dessas cultivares ao seu maior mercado, União Europeia, sendo elas por meio do transporte marítimo ou transporte aéreo. Ao analisar o transporte marítimo observa-se que um dos pontos limitantes está relacionado à distância entre os portos assim como a ausência de containers, devido a esse fator muitas vezes os produtores sofrem com a demora nos portos gerando gastos cada vez maiores.

## REFERÊNCIAS

AGROSTAT, Ministério da Agricultura Abastecimento e Pecuária - MAPA. Exportação e Importação Brasil. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>; Acessado em 23/04/2022.

ANTUNES, LEC. Pequenas frutas: estratégias para o desenvolvimento. In: Embrapa Clima Temperado- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 13., 2013, Fraiburgo. Anais... Caçador: Epagri, 2013., 2013.

BARBOSA, W.; PIO, R. História da fruticultura de clima temperado no Brasil, com ênfase no melhoramento genético. Infobibos, v. 24, n. 6, 2013.

BENDINI, Mónica; STEIMBREGER, Norma. Integración agroalimentaria. Trayectorias empresariales comparadas en la fruticultura argentina de exportación. Cavalcanti, S. y Neiman, G. (comp). "Acerca de la Globalización en la Agricultura, p. 187-204, 2005.

Brasil bate recorde histórico com mais de US\$ 1,21 bilhão em exportação de frutas em 2021 disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-historico-com-mais-de-us-1-21-bilhao-em-exportacao-de-frutas-em-2021>; acesso em 22/02/2022

BEZERRA, Juscelino Eudâmidas. REDES DE SUPERMERCADOS E A GOVERNANÇA DO SETOR AGROALIMENTAR: A PRODUÇÃO DE FRUTAS NO NORDESTE BRASILEIRO. Ra'e Ga, Curitiba, v.42, p. 104 -119, dez /2017.

CASTILLO, Ricardo; FREDERICO, Samuel. Dinâmica Regional e Globalização: espaços competitivos agrícolas no território brasileiro. Mercator, Fortaleza, v. 9, n. 18, p. 17-26, jan. / abr 2010.

COSTA, LGEB; ALCÂNTARA, Rosane Lúcia Chicarelli. Barreiras não-tarifárias, arranjos distributivos e características dos mercados: uma análise da exportação de manga brasileira in natura. Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção, v. 8, n. 11, 2008.

DA SILVA, Mygre Lopes *et al.* O impacto da política comercial da União Europeia sobre as exportações brasileiras de hortifrúti. Revista Teoria e Evidência Econômica, v. 22, n. 47, 2016.

DA SILVA, Leidiene Lopes. A incidência de tributos no comércio exterior como barreiras para a exportação de produtos alimentícios brasileiros. Revista Científica BSSP, v. 1, n. 1, p. 0-0, 2020.

Dados de Exportação de frutas Janeiro de 2021. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2021/02/dados-de-exportacao-janeiro-2021/>; acesso em 23/04/2022

OLIVEIRA FILHO, Silvio Fernando Santana; COSTA, Ecio de Farias; XAVIER, Leonardo Ferraz. Diversificação da produção e acesso a mercados: estudo de caso para a fruticultura irrigada do Pólo Petrolina-Juazeiro. 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. FAO. FAOSTAT. Divisão de estatística, 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. Acessado em: 24/04/2022.

MALISZEWSKI, Eliza. ARGENTINA AUMENTA A EXPORTACAO DE FRUTAS PARA A AMERICA LATINA disponível: [https://www.agrolink.com.br/noticias/argentina-aumenta-exportacoes-de-frutas-para-america-latina\\_446264.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/argentina-aumenta-exportacoes-de-frutas-para-america-latina_446264.html); acesso em 23/02/2022.

PASSONI, Adriana Carla *et al.* Análise dos principais entraves na exportação de frutas brasileiras. 2006.

PINHEIRO, Jádina Carina *et al.* Embalagens para exportação de frutas: uma abordagem teórica do mercado atual e perspectivas futuras. 2021.

ROSA, Nátali Bolivar da. O impacto da fruticultura no desenvolvimento econômico da região da campanha-RS entre 1996 a 2015. 2018.

SILVA, Isaias Duarte da; A FRUTICULTURA E SUA IMPORTANCIA ECONOMICA, SOCIAL E

ALIMENTAR. Simpósio Nacional de Tecnologia em Agronegócio v.11 n1 (2019).

VIDAL, Maria de Fátima. "Produção comercial de frutas na área de atuação do BNB." (2021).

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaríamos de agradecer a Deus por ter sido nosso alicerce para superar todas as dificuldades que encontramos.

A nossa orientadora Letícia Santana Guimarães pelo horizonte e norteamento durante o processo de construção de ideias

Ao professor Doutor André Freire Cruz, por todo apoio e orientação durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos pais e a todos aqueles que estiverem envolvidos de forma direta ou indireta nesse percurso.



# Influência da variação granulométrica do agregado miúdo na aderência do chapisco

---

Andrés Luis Muller Wammes

*Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil*

Eduardo Damim

*Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.6

## RESUMO

Devido as frequentes manifestações patológicas encontradas nas edificações por falta de aderência no revestimento argamassado, cada vez mais se busca o estudo e aprimoramento do sistema. Um dos principais componentes empregados para o melhoramento de aderência é o chapisco, que tem como função dar rugosidade a superfície do substrato. Este trabalho tem como objetivo analisar diferentes composições granulométricas na produção de chapisco para aprimoramento da aderência. Para isso foram produzidos 5 tratamentos de chapisco em um traço de 1:3 utilizando variações granulométricas do agregado miúdo (areia) padronizado e fornecido pelo IPT sendo elas 1,2 mm, 0,6 mm 0,3mm e 0,15mm e também mista utilizando 25% de cada granulometria. Com a pesquisa é possível concluir que para o ensaio de aderência potencial a um melhoramento significativo da resistência quando utilizado areias grossas, tendo uma diferença de 158% entre a areia de 1,2 mm e de 0,15 mm sendo a areia grossa com melhor desempenho. Os chapiscos utilizando areia mista tiveram resultados próximos ou melhores em comparação com o chapisco utilizando areia de 1,2 mm e variações menores entre os resultados. Outro ponto importante para os resultados obtidos para o ensaio de aderência potencial foi que se comparado com a massa específica do agregado ela se comporta de forma parecida, sendo que quanto maior a massa específica melhor será a aderência. Sendo assim, é tecnicamente viável a utilização de agregado miúdo (areia) com espessura maiores no chapisco, pois em sua principal função, a aderência, os resultados obtidos demonstram uma melhora significativa.

**Palavras-chave:** aderência. chapisco. granulometria.

## INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das áreas que mais vem ganhando com a criação e aperfeiçoamento, ao longo do tempo, de insumos, ferramentas e utensílios, isso porque permitiu melhores execuções, maior praticidade, mais agilidade, qualidade, produtividade.

A área passou a buscar o melhoramento de todos seus elementos para evitar patologias nas edificações, um dos elementos que vem sendo estudado em busca do melhoramento de suas propriedades e o sistema de revestimento.

A norma NBR 13529:2013 define o sistema de revestimento como um conjunto formado por revestimento argamassado e acabamento decorativo. O revestimento argamassado é o componente mais importante deste sistema, sendo composto por: chapisco, emboço e reboco ou massa única.

O chapisco tem como função dar ancoragem para as camadas subsequente. Definido pela NBR 13529:2013 como camada de preparo do substrato, podendo ser aplicada de forma continua ou descontinua, tendo por finalidade padronizar a base quanto à absorção e aprimoramento da aderência para o revestimento.

A principal motivação para estes estudos, são as patologias recorrentes nos revestimentos argamassados. Moura (2007) cita os principais problemas sendo: falta de aderência (desplacamento), retração, mancha de umidade, fissuras. O autor ainda afirma que devemos ter um cuidado especial com o deslocamento, elemento que está totalmente ligado a aderência.

Segundo Carvalho (2016) a principal a técnica para melhora a aderência do revestimento

de argamassa é o chapisco, segundo ele é empregado em situações em que a necessidade de desempenho dos revestimentos aderidos ao substrato é essencial.

Sendo assim, a pesquisa busca o melhoramento da propriedade de aderência do chapisco através de variações granulométricas do agregado miúdo (areia).

## CHAPISCO

A NBR 13529:2013 define chapisco como camada de preparo do substrato, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

Segundo o manual de normas de argamassa ABCP (2002) o chapisco nem sempre é considerado como uma camada do revestimento pelo fato de não possuir realmente uma espessura definida e não ser homogêneo, é a etapa de preparo da base que tem com o objetivo de torná-la mais rugosa e homogênea à absorção de água, pois os elementos estruturais e a alvenaria possuem capacidade de absorção bastante distintos.

O principal responsável por atribuir aderência ao revestimento argamassado é o chapisco, que segundo a NBR 7200/1998 deve ser feita sua aplicação, não excedendo os 5 mm de espessura, a fim de evitar esforços que podem comprometer a aderência do revestimento.

Para Apolonio *et al.* (2015) o chapisco tem o intuito de melhorar as condições de ancoragem entre a argamassa e o substrato, a utilização de argamassa de chapisco tem sido prática comum, considerando suas características de acabamento áspero e irregular. Ele indica que o chapisco deve ser visto não como uma camada do sistema revestimento, mas como uma preparação da base.

De acordo com Carvalho (2016) são três os tipos mais comuns de chapisco: o tradicional, normalmente lançado com colher de pedreiro; o industrializado, aplicado com desempena dentada; o rolado, aplicado com o rolo utilizado para textura. O autor ainda acrescenta um quarto elemento, o chapisco projetado, que é lançado com equipamento mecânico.

Cada tipo de chapisco é determinado segundo o manual de argamassas ABCP (2002), o chapisco tradicional consiste na aplicação de uma argamassa fluida sobre a base, o manual indica a aplicação com colher de pedreiro. Para bom desempenho deve se ter uma camada rugosa, aderente e resistente. Esta argamassa fluida tem como elementos o cimento e areia grossa em traços indicadas pelo manual que variam de 1:3 a 1:5, o traço escolhido depende das características do agregado do chapisco utilizado e do substrato que será aplicado a argamassa.

O manual ABCP (2002) ainda explica que o chapisco Industrializado tem seu uso indicado para estruturas de concreto, esse chapisco é produzido em indústria obtendo um controle de produção, sendo necessário só o acréscimo de água para o uso. É indicado a sua aplicação com desempena dentada.

Por fim a ABCP (2002) traz que o chapisco rolado tem sua estrutura idêntica ao chapisco tradicional podendo conter adição de aditivos, usualmente são utilizados aditivos com base PVA. Tem seu uso indicado tanto em estrutura de concreto como na alvenaria, para a aplicação usa-se textura acrílica. Tem seu uso difundindo em partes internas, devido à dificuldade de aplicar em

fachadas.

## Resistência a aderência

Segundo Apolonio *et al.* (2015) a resistência de aderência à tração é entendida como a capacidade de resistir a um esforço normal de tração de uma determinada área, essa área é definida pela extensão da resistência. Para o autor, quando a aderência é pobre de extensão o revestimento tem tendência à perda de aderência pois ocorre variações volumétricas distintas entre a argamassa e o substrato, de acordo com as tensões geradas.

Para Carasek (1996) a aderência entre o substrato e a argamassa trata se de um fenômeno basicamente mecânico, isso ocorre devido a penetração do aglomerante ou da própria argamassa nos poros dos substratos, ou também pela rugosidade da base.

De acordo com Carasek, Cascudo e Scartezini (2001), quando a argamassa está no estado plástico ela entra em contato com a base absorvente, uma parte da água de amassamento em conjunto com partes do aglomerante, essa pasta penetra pelos poros e cavidades dos substratos, desta forma temos a hidratação do cimento nesses locais, formando pontos de ancoragem chamados de aderência.

O estudo de Carasek (2007) destaca que no estado endurecido, a propriedade fundamental para a argamassa é a aderência, quando a argamassa não corresponder a esta propriedade, não atendera a suas funções.

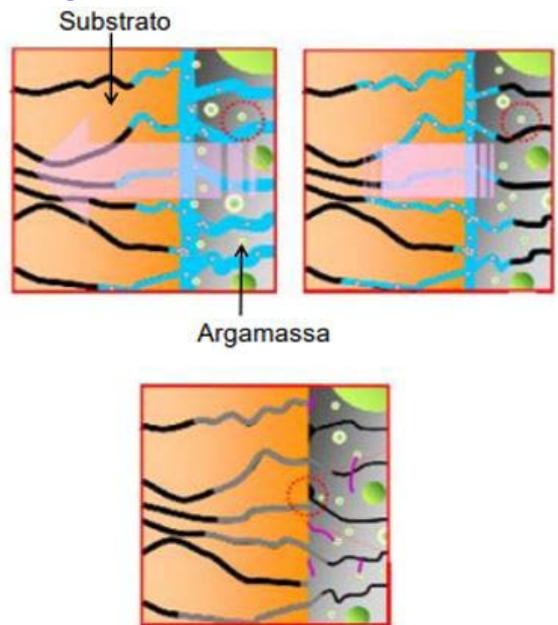
De acordo com Gasperin (2011) para explicar a aderência dos revestimentos argamassados é utilizado a teoria dos poros ativos.

Para Scartezini (2002) essa teoria foi inicialmente indicada pelos pesquisadores do INSA (*Institut National de Sciences Appliquées*, na França), ele explica que os autores sugerem a distinção dos poros na ligação entre argamassa e o substrato, essa separação seria de acordo com a capacidade de absorção e retenção de água. Scartezini (2002) ainda explica que são considerados poros ativos que apresentam força capilar suficiente para realizar a sucção de água.

Ainda sobre isso Carasek (1996) o sistema de poros da base é formado por um conjunto de tubos cilíndricos paralelos independentes, abertos, perpendiculares à superfície da argamassa, com raios constantes ao longo do tempo e inicialmente vazios.

As figuras abaixo representam esquematicamente a teoria dos poros ativos. Segundo Gasperin (2011) a primeira figura representa o momento da aplicação da argamassa ainda no estado fresco, imediatamente a água começa a fluir da argamassa para o substrato. A segunda imagem representa o momento que equilibra as forças de sucção capilar e as forças físico-químicas de retenção de água, o aperto mecânico das partículas no interior da argamassa é tal que o raio médio dos seus capilares se torna igual aos capilares da base, fazendo com que se interrompesse o fluxo de água por sucção. Já o terceiro representa a precipitação dos elementos nos poros do substrato e em seguida o endurecimento da argamassa formando a aderência.

**Figura 1 – Poros ativos dos substratos**



Fonte: Adaptado de Gasperin (2011).

Como citado acima, com o decorrer do processo de aderência, os diâmetros do substrato e da argamassa se igualam e isso promove um equilíbrio das forças de retenção da argamassa.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O chapisco foi realizado no traço 1:3 (cimento e areia) seguindo orientações do manual de revestimentos de argamassa ABCP (2002), contendo 6 variações.

O quadro abaixo descreve qual granulometria do agregado miúdo será aplicada em cada tratamento.

**Quadro 1 – Descrição da areia de cada chapisco**

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
<b>CH 16</b>	Areia grossa IPT #16 Material retido na peneira de 1,2 mm
<b>CH 30</b>	Areia média grossa IPT #30 Material retido na peneira de 0,6 mm
<b>CH 50</b>	Areia média fina IPT #50 Material retido na peneira de 0,3 mm
<b>CH 100</b>	Areia fina IPT #100 Material retido na peneira de 0,15 mm
<b>ch MISTA IPT</b>	25% de cada fração com areia do IPT
<b>ch MISTA local</b>	25% de cada granulométrica da areia local

Fonte: autor (2022)

O agregado miúdo utilizado para o chapisco são a Areia Normal Brasileira produzido pelo IPT (Instituto de Pesquisas tecnológicas) e areia local extraída do rio Paraná.

A areia do IPT segue os parâmetros da ABNT NBR 7214:2015, esse material é fornecido em embalagens de 25 kg, separadas nas seguintes frações granulométricas: grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100).

A tabela abaixo demonstra a granulometria das areias correspondente a cada fração, segundo o certificado do IPT.

**Tabela 1 – Fração granulométrica areia IPT**

Fração	Material entre as peneiras de abertura nominal	Porcentagem em massa %	
		Resultados	Requisito
16	2,4 mm e 2,0 mm	6	≤ 10
	2,00 mm e 1,2 mm	91	≥ 95
30	1,2 mm e 0,6 mm	97	≥ 95
50	0,6 mm e 0,3 mm	95	≥ 95
100	0,3 mm e 0,15 mm	95	≥ 95

**Fonte: Adaptado do certificado de areia IPT (2022).**

Para a areia local foram realizados ensaios de caracterização e classificações para equiparar com a areia produzida pelo IPT. Os ensaios para o agregado miúdo realizados foram: Granulometria, teor de material pulverulento, massa unitária, índices de vazios, densidade, absorção de água.

Através do ensaio de granulometria, utilizando a NBR NM 294 pode-se determinar a distribuição granulométrica do material. Para areias e pedregulhos, possuindo pouca quantidade de finos, pode-se obter a curva granulométrica inteiramente determinada utilizando o peneiramento.

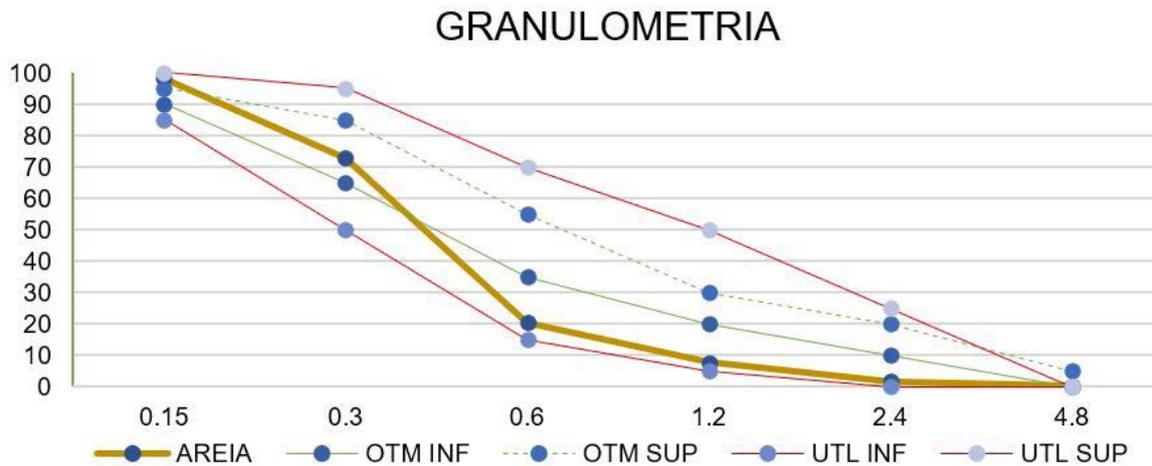
**Figura 2 – Ensaio de granulometria**



**Fonte: Autor (2022).**

Através do ensaio, determinou-se a curva granulométrica da areia local e verificou o posicionamento em relação a zona utilizável e ótima da norma, como demonstrado no gráfico abaixo.

**Gráfico 1– Distribuição granulométrica areia local**



Fonte: Autor (2022)

Através da distribuição granulométrica pode-se observar que todos os materiais se encontram dentro da zona utilizável estabelecido pela norma.

Para os demais ensaios os valores obtidos estão descritos na tabela abaixo.

**Tabela 2 – Caracterização areia local**

Teor de material pulverulento (%)	0,51
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,65
Índices de vazios (%)	35,2
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,58
Absorção de água (%)	1,01

Fonte: Autor 2022.

Para a aplicação do chapisco será utilizado o método convencional, segundo o manual de revestimento de argamassa ABCP (2002) será aplicado com a máquina de chapisco e a consistência final deve ser de uma película rugosa.

A aplicação do chapisco usara o método contínuo ou fechado indicado por Bauer (2005) para superfície pouco porosas, o manual de revestimento também indica o uso de chapisco contínuo em superfícies de estruturas ou alvenaria.

## ANÁLISE DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para aderência potencial de cada granulometria estão dispostos abaixo e analisados inicialmente individualmente, cada granulometria obteve um comportamento diferente desde a mistura da argamassa.

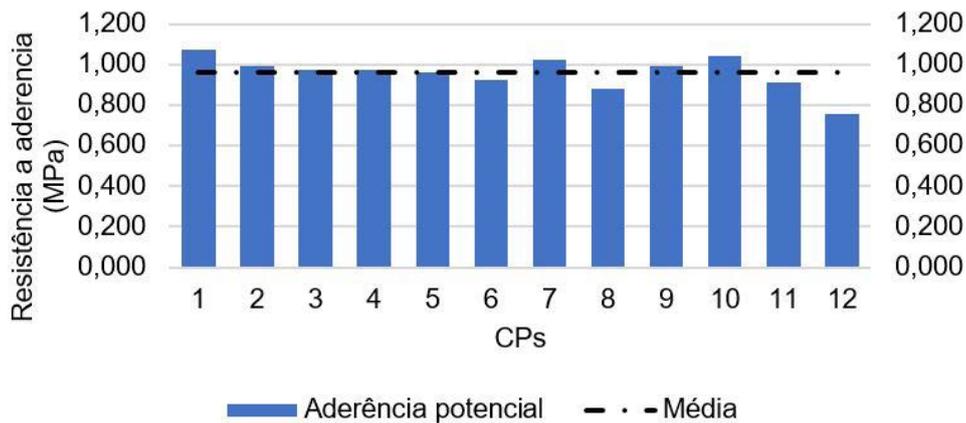
Os resultados para aderência potencial para o chapisco utilizando 25% de cada granulometria da areia do IPT (CH IPT MISTA) está disposto no Gráfico 2 e os resultados na Tabela 3, foi possível observar um desvio padrão baixo devido a homogeneidade da argamassa, isso pode ser atribuído a utilização de todos as frações da areia.

**Tabela 3 – Análise dos resultados de resistência a aderência para CH MISTA IPT**

	(MPa)
Média	0,959
Desvio padrão	0,080
Mínimo	0,759
Máximo	1,074
Coefficiente de variação	8,34%

Fonte: Autor 2022.

**Gráfico 2 – Resultados por CPs para aderência potencial CH MISTA**



Fonte: Autor 2022.

Foi realizado o tratamento estatístico dos resultados, com a remoção dos dados fora dos limites, a Tabela 4 demonstra que devido ao baixo desvio padrão não se teve alteração na média dos resultados.

**Tabela 4 – Análise dos resultados após o tratamento dos dados**

	(MPa)
Média	0,959
Desvio padrão	0,044
Mínimo	0,879
Máximo	1,024
Coefficiente de variação	4,56%

Fonte: Autor 2022.

As formas de rupturas dos CPs estão indicadas na Tabela 5, dos 12 CPs avaliados no ensaio 75% romperam na ligação do chapisco, isso demonstram que na maioria dos CPs foi determinada a resistência máxima do chapisco.

**Tabela 5 - Análise da Forma da ruptura**

Forma de Ruptura	Quantidade	%
Cola/Pastilha	0	0%
Argamassa/Cola	2	17%
Argamassa	1	8%
Argamassa/Chapisco	9	75%
Chapisco/Substrato	0	0%
Total	12	100%

Fonte: Autor 2022.

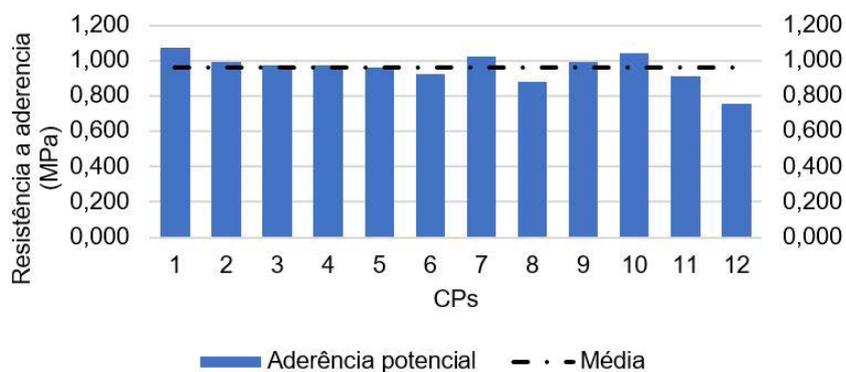
Os resultados para aderência potencial para o chapisco utilizando a areia com grão de 1,2 mm de espessura (CH 16) está disposto no Gráfico 3 e os resultados na Tabela 6, foi possível observar um desvio padrão maior em referência a anterior, mas um aumento na resistência média.

**Tabela 6 – Análise dos resultados de resistência a aderência para CH 16 IPT**

	(MPa)
Média	0,999
Desvio padrão	0,218
Mínimo	0,689
Máximo	1,009
Coefficiente de variação	21,84%

Fonte: Autor 2022.

**Gráfico 3 – Resultados por CPs para aderência potencial CH 16 IPT**



Fonte: Autor 2022.

O aumento da resistência pode ser explicado através de uma maior rugosidade apresentada pelos grãos maiores, mas com uma distribuição não uniforme dos grãos como demonstrado na Figura 3.

**Figura 3 – Placa de concreto com chapisco utilizando a areia IPT 1,2 MM.**

**Fonte: Autor 2022.**

É possível observar a concentração maior de grãos em determinados locais e outros com uma quantidade menor, tendo assim lugares mais rugosos e menos rugosos causando uma maior variação entre os resultados.

Foi realizado o tratamento estatístico dos resultados, com a remoção dos dados fora dos limites, a Tabela 7 demonstra uma pequena melhora após tratamento dos dados.

**Tabela 7 – Análise dos resultados após o tratamento dos dados**

	(MPa)
Média	1,029
Desvio padrão	0,181
Mínimo	0,724
Máximo	1,014
Coefficiente de variação	17,60%

**Fonte: Autor 2022.**

As formas de rupturas dos CPs estão indicadas na Tabela 8, dos 12 CPs avaliados no ensaio 100% romperam na ligação do chapisco, isso demonstram que foi obtido a resistência máxima do chapisco.

**Tabela 8 - Análise da Forma da ruptura**

Forma de Ruptura	Quantidade	%
Cola/Pastilha	0	0%
Argamassa/Cola	0	0%
Argamassa	0	0%
Argamassa/Chapisco	12	100%
Chapisco/Substrato	0	0%
Total	12	100%

**Fonte: Autor 2022.**

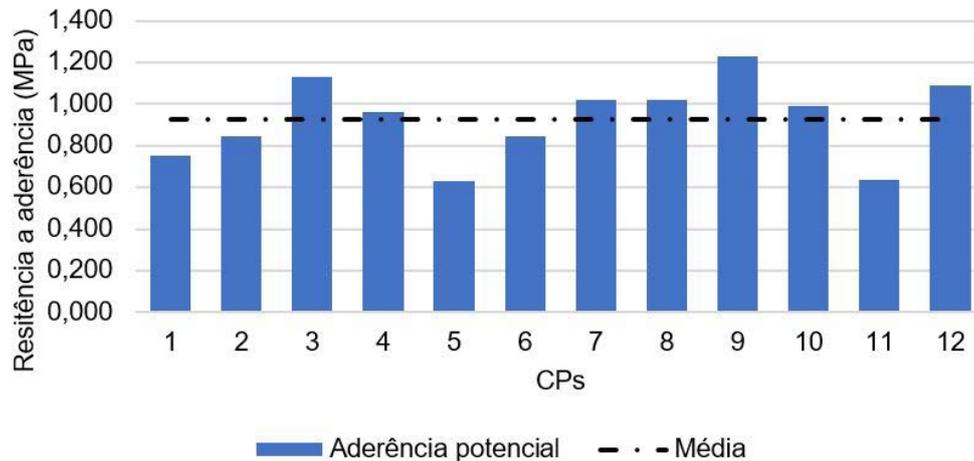
Os resultados para aderência potencial para o chapisco utilizando a areia com grão de 0,6 mm de espessura (CH 30) está disposto no Gráfico 4 e os resultados na Tabela 9, foi possível observar uma variação menor entre os resultados. Essa menor variação é devido a boa distribuição dos grãos e ótima rugosidade devido a espessura dos grãos.

**Tabela 9 – Análise dos resultados de resistência a aderência para CH 30 IPT**

	(MPa)
Média	0,929
Desvio padrão	0,182
Mínimo	1,228
Máximo	0,629
Coefficiente de variação	19,62%

Fonte: Autor 2022.

**Gráfico 4 – Resultados por CPs para aderência potencial CH 30 IPT**



Fonte: Autor 2022.

Foi realizado o tratamento estatístico dos resultados, com a remoção dos dados fora dos limites, a Tabela 10 demonstra uma melhora na média dos resultados e uma redução no desvio padrão.

**Tabela 10 – Análise dos resultados após o tratamento dos dados**

	(MPa)
Média	0,941
Desvio padrão	0,107
Mínimo	0,754
Máximo	1,089
Coefficiente de variação	11,34%

Fonte: Autor 2022.

As formas de rupturas dos CPs estão indicadas na Tabela 11, dos 12 CPs avaliados no ensaio 100 % romperam na ligação do chapisco, isso demonstram que foi obtido a resistência máxima do chapisco.

**Tabela 11 - Análise da Forma da ruptura**

Forma de Ruptura	Quantidade	%
Cola/Pastilha	0	0%
Argamassa/Cola	0	0%
Argamassa	0	0%
Argamassa/Chapisco	12	100%
Chapisco/Substrato	0	0%
Total	12	100%

Fonte: Autor 2022.

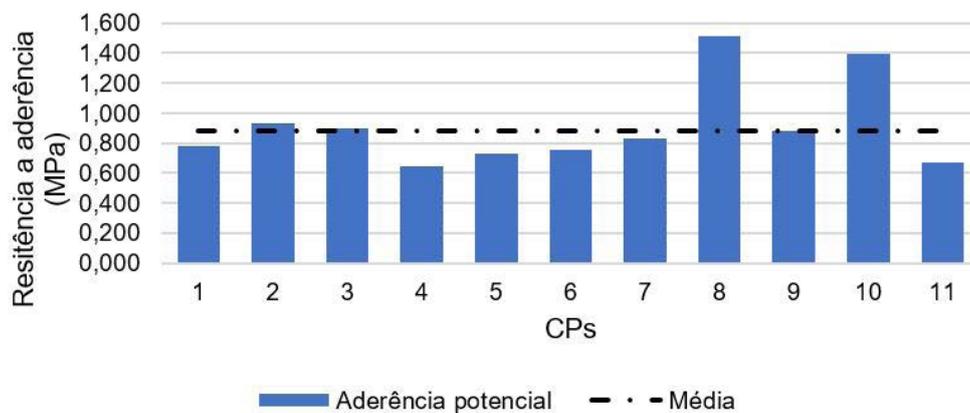
Os resultados para aderência potencial para o chapisco utilizando a areia com grão de 0,3 mm de espessura (CH 50) está disposto no Gráfico 5 e os resultados na Tabela 12, foi possível observar uma redução na resistência média e uma alta no desvio padrão, foi observado durante o preparo que o chapisco utilizando areia mais fina consumo mais água e devido a isso a uma quantidade de água menor para entrar nos poros do concreto.

**Tabela 12 – Análise dos resultados de resistência a aderência para CH 50 IPT**

	(MPa)
Média	0,880
Desvio padrão	0,280
Mínimo	0,534
Máximo	1,513
Coefficiente de variação	31,87%

Fonte: Autor 2022.

**Gráfico 5 – Resultados por CPs para aderência potencial CH 50 IPT**



Fonte: Autor 2022.

É possível observar que 2 CPs tiveram uma variação grande em referência aos outros e durante o ensaio não houve nada que pudesse explicar esta anormalidade.

Foi realizado o tratamento estatístico dos resultados, com a remoção dos dados fora dos limites, a Tabela 13 demonstra uma queda na resistência média, mas com uma baixa significativa no desvio padrão.

**Tabela 13 – Análise dos resultados após o tratamento dos dados**

	(MPa)
Média	0,790
Desvio padrão	0,095
Mínimo	0,929
Máximo	0,644
Coefficiente de variação	12,05%

**Fonte: Autor 2022.**

As formas de rupturas dos CPs estão indicadas na Tabela 14, dos 12 CPs avaliados no ensaio 100 % romperam na ligação do chapisco, isso demonstram que foi obtido a resistência máxima do chapisco

**Tabela 14 - Análise da Forma da ruptura.**

Forma de Ruptura	Quantidade	%
Cola/Pastilha	0	0%
Argamassa/Cola	0	0%
Argamassa	0	0%
Argamassa/Chapisco	12	100%
Chapisco/Substrato	0	0%
Total	12	100%

**Fonte: Autor 2022.**

Os resultados para aderência potencial para o chapisco utilizando a areia com grão de 0,15 mm de espessura (CH 100) está disposto no Gráfico 6 e os resultados na Tabela 15, foi possível observar grandes variações nos resultados.

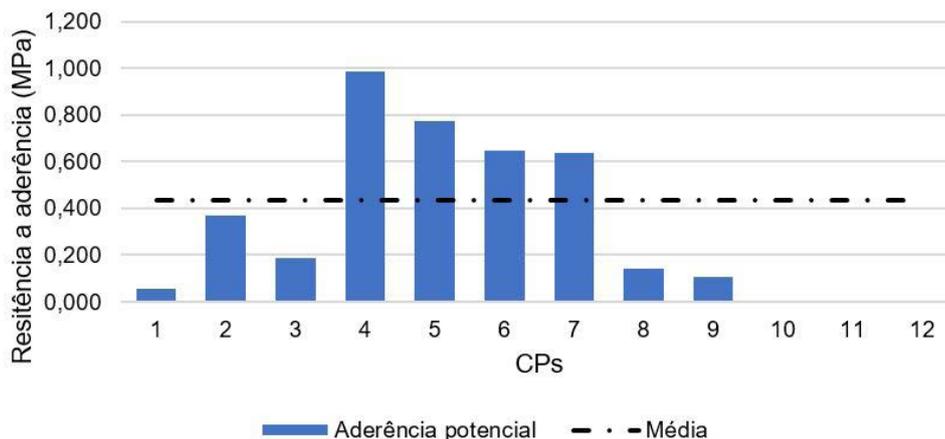
Durante o preparo da argamassa de chapisco foi notado um consumo maior de água para obter uma mistura com boa trabalhabilidade para aplicação e isto prejudicou a penetração da água/cimento nos poros do substrato.

**Tabela 15 – Análise dos resultados de resistência a aderência para CH 100 IPT**

	(MPa)
Média	0,434
Desvio padrão	0,319
Mínimo	0,000
Máximo	0,140
Coefficiente de variação	73,36%

**Fonte: Autor 2022**

**Gráfico 6 – Resultados por CPs para aderência potencial CH 100 IPT**



Fonte: Autor 2022.

Durante a execução do ensaio 3 CPs soltaram durante a perfuração demonstrando uma baixa aderência entre a ligação do chapisco e substrato, durante a execução do arrancamento as variações foram aumentando, é possível observar que 5 CPs tiveram baixas resistências e 4 alta resistência, demonstrando um desvio padrão próximo a média

Após o tratamento estatístico dos resultados, com a remoção dos dados fora dos limites, a Tabela 16 demonstra uma queda na resistência média e ainda matem um coeficiente de variação alto.

**Tabela 16 – Análise dos resultados após o tratamento dos dados**

	(MPa)
Média	0,397
Desvio padrão	0,215
Mínimo	0,140
Máximo	0,639
Coeficiente de variação	54,20%

Fonte: Autor 2022

As formas de rupturas dos CPs estão indicadas na Tabela 17, dos 12 CPs avaliados no ensaio 100 % romperam ou soltaram na ligação do chapisco, isso demonstram que foi obtido a resistência máxima do chapisco. É possível observar que foi o único elemento que a ruptura aconteceu no chapisco/substrato.

**Tabela 17 - Análise da Forma da ruptura.**

Forma de Ruptura	Quantidade	%
Cola/Pastilha	0	0%
Argamassa/Cola	0	0%
Argamassa	0	0%
Argamassa/Chapisco	0	0%
Chapisco/Substrato	12	100%
Total	12	100%

Fonte: Autor 2022

Os resultados para aderência potencial para o chapisco utilizando a areia local com 25%

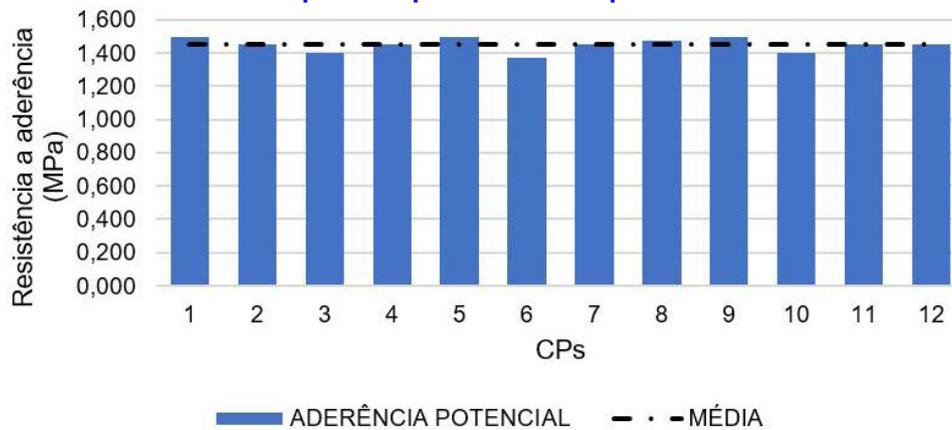
de cada granulometria (CH MISTA LOCAL) está disposto no Gráfico 6 e os resultados na Tabela 18, foi possível observar um aumento significativo na resistência a aderência se comparada as outras e um desvio padrão baixo.

**Tabela 18 – Análise dos resultados de resistência a aderência para CH MISTA LOCAL**

	(MPa)
Média	1,448
Desvio padrão	0,039
Mínimo	1,373
Máximo	1,498
Coefficiente de variação	2,73%

Fonte: Autor 2022

**Gráfico 6 – Resultados por CPs para aderência potencial CH MISTA LOCAL**



Fonte: Autor 2022

Foi realizado o tratamento estatístico dos resultados, com a remoção dos dados fora dos limites, a Tabela 19 demonstra pouca alteração devido ao baixo desvio padrão e com o tratamento o desvio padrão chegou próximo a 0 Mpa.

**Tabela 19 – Análise dos resultados após o tratamento dos dados**

	(MPa)
Média	1,452
Desvio padrão	0,009
Mínimo	1,448
Máximo	1,473
Coefficiente de variação	0,64%

Fonte: Autor 2022.

As formas de rupturas dos CPs estão indicadas na tabela 20, dos 12 CPs avaliados no ensaio 100 % romperam na ligação do chapisco, isso demonstram que foi obtido a resistência máxima do chapisco.

**Tabela 20 - Análise da Forma da ruptura.**

Forma de Ruptura	Quantidade	%
Cola/Pastilha	0	0%
Argamassa/Cola	0	0%
Argamassa	0	0%
Argamassa/Chapisco	12	100%
Chapisco/Substrato	0	0%
Total	12	100%

Fonte: Autor 2022.

Abaixo temos a representação da média de cada chapisco no gráfico 8, é possível observar que o chapisco CH MISTA LOCAL apresenta uma resistência superior a todos, é possível observar também uma tendência de que quanto mais fina a areia menor será a sua resistência a aderência.

**Gráfico 8 – Resultados por tratamento para aderência potencial**

Fonte: Autor 2022.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados dos ensaios de laboratório executados nessa pesquisa, e com base nas pesquisas apresentadas, foi possível observar influência significativa nos resultados da resistência a aderência, tendo as areias com grão maiores resultados melhores se comparado com as finas.

Para o ensaio de aderência potencial foi possível observar uma diferença de 158% entre a areia de 1,2 mm e de 0,15 mm, as areias mistas contendo 25% de cada granulometria tiveram um bom desempenho sendo equivalentes ou melhores que a areia de 1,2 mm. Os resultados do CH MISTA LOCAL, CH MISTA IPT, CH 16, CH 30, CH 50 e CH 100 foram 1,45MPa, 0,96MPa, 1,03MPa, 0,94MPa, 0,79 MPa, e 0,40MPa assim respectivamente. Importante ressaltar que os chapiscos utilizando as areias mista tiveram menor variação entre seus resultados.

Sendo assim, é tecnicamente viável a utilização de agregado miúdo (areia) com espessura maiores no chapisco, pois em sua principal função, a aderência, os resultados obtidos demonstram uma melhora significativa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529:2013. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 13 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7200:1998. Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 13 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7214:2015. Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 4 p.

APOLÔNIO, Priscila H. *et al.* Análise comparativa da resistência de aderência do chapisco com diferentes relações água/ligante e adição de metacaulim. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, XI SBTA. Porto Alegre, RS. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Manual de revestimento de argamassa. 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/ativos/279/manual-de-revestimentos-de-argamassa.html>>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

CARASEK, Helena. Aderência de argamassas a base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. Tese apresentada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1996

CARASEK, Helena. Patologia das argamassas de revestimento. Instituto Brasileiro de Concreto – IBRACON. Goiânia, GO. 2007.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; SCARTEZINI, Luís Mauricio. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, DF. 2001

CARVALHO, Paulo Denizard. Estudo da interface entre blocos cerâmicos e argamassas de chapisco. Dissertação apresentada na Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2016.

GASPERIN, Josiane. Aderência de revestimentos de argamassa em substrato de concreto: influência da forma de aplicação e composição do chapisco. Dissertação Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2011.

MOURA, Cristiane Borges. Aderência de Revestimentos Externos de Argamassa em Substrato de Concreto: Influência das Condições de Temperatura e Ventilação na Cura do Chapisco. Dissertação apresentado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2007.

SCARTEZINI, Luís Maurício. Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. Dissertação apresentada na Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. 2002.



# Análise do desempenho do resíduo de construção e demolição - RCD estabilizado quimicamente na pavimentação

---

Paula da Silva Barboza  
*Graduanda em Engenharia Civil*

Eduardo Damin

*Engenheiro civil, especialista em gerenciamento de projetos e mestre em Construção Civil com ênfase em Geotecnia*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.7

## RESUMO

A indústria da construção civil é responsável por gerar cerca de 62% de todo resíduo sólido urbano produzido no país, onde o processo de urbanização é o fator que influencia diretamente o aumento da produção de tais resíduo de construção civil. Outra problemática que o país enfrenta é o descaso com reformas, ampliações e melhorias na malha viária brasileira, mesmo o transporte rodoviário sendo o modal mais procurado pelos brasileiros. Sendo assim é necessário que os resíduos sejam destinados de forma adequada, diminuindo os impactos ambientais e os problemas sociais proporcionados pelo mesmo. Com base nesse pressuposto, o artigo tem como objetivo analisar o uso do resíduo de construção e demolição (RCD) como substituição total do agregado convencional, além de estabilizar quimicamente adicionando cimento Portland, com a finalidade de atender as exigências normativas para as camadas da pavimentação. Adotou-se na pesquisa, a faixa granulométrica C do DNIT para bases estabilizadas granulometricamente, sendo que para o material coletado se enquadrasse na faixa escolhida foi elaborada uma mistura de 15% de brita 1, 15% de brita 2 e 70% de pedrisco + areia, material esse, comercializado pela usina Future Reciclagem Inteligente, situada na cidade de Cascavel – PR. Para a estabilização química das misturas, foram utilizados teores de cimento Portland CP-V com teores de substituição em massa de 4%, 6% e 8%, o qual foram submetidos aos ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e de resistência à compressão simples (RCS). Com a realização do ensaio de resistência a compressão simples, encontrou-se resistência superior a 2,1 MPa aos sete dias com teor de 8% de cimento Portland. Portanto constata-se grande potencial de reutilização do resíduo de construção e demolição, principalmente sendo feito a estabilização química da mistura, podendo ser aplicado a camadas de base e sub-base de pavimentos, até mesmo reforço de sub-leito.

**Palavras-chave:** reciclagem. camadas do pavimento. índice de suporte califórnia. estabilização química. resistência a compressão simples.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o processo de urbanização expandiu de forma acelerada, com ele, a demanda por novas construções e reformas aumentou significativamente. Em decorrência da ampliação na construção civil, os resíduos de construção e demolição (RCD) tem aumentado consideravelmente, sendo necessário a busca por alternativas visando a destinação correta para tais materiais, minimizando assim os impactos sociais e ambientais gerados.

O transporte rodoviário possui grande influência na circulação de mercadorias e passageiros, sendo atualmente o modal mais utilizado pelos brasileiros. Apesar de ser o mais usado, pouco investimento se tem feito na área, de acordo com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021a, p.13), considerando que a malha rodoviária brasileira total é de 1.720.909,0 km, apenas 12,4% dela é pavimentada. Portanto é de extrema importância que investimentos sejam feitos, melhorando a qualidade na pavimentação das rodovias no país.

Para propor uma adequação, seja para fins de melhoria ou de ampliação na malha viária, é necessário um alto investimento financeiro por parte das concessionárias. Levando em consideração a quantidade de resíduos gerados pelas construções, e a defasagem de rodovias pavimentadas no país, uma alternativa atrativa para a destinação do RCD é na pavimentação. Portanto substituir os agregados convencionais por agregados reciclados (AR), gera uma redu-

ção nos custos de implantação viabilizando a ampliação da malha viária pavimentada.

Com base no alto número de resíduos produzidos pela construção civil o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu por meio da resolução N° 307, de julho de 2002 (BRASIL, 2002), critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos. No trabalho, será utilizado o RCD classe A, que são resíduos provenientes de materiais cerâmicos, argamassas e concreto, e será avaliado a viabilidade de sua utilização, bem como a necessidade da estabilização química da mistura para o uso em camadas granulares da pavimentação.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Resíduo de construção e demolição RCD

A Resolução do CONAMA n. 307 (BRASIL, 2002) define resíduos de construção e demolição (RCD), como sendo os resíduos provenientes de obras de construção civil como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, rochas, metais, madeiras, argamassa, gesso, telhas, etc. Ela estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias, como forma a minimizar os impactos ambientais.

No Brasil, o RCD representa uma parcela considerável entre os resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados. De acordo com o panorama realizado pela ABRELPE (2021), foram coletadas 76.079.836 toneladas de RSU no ano de 2021, sendo que 46.997.400 toneladas são de RCD, representando uma parcela de 61,77% de todo o RSU gerado no país.

Atualmente diversas pesquisas vêm sendo elaboradas, buscando métodos para reaproveitar esses resíduos em diversas áreas. Uma das maneiras mais usuais do RCD, é transformando esse material em agregados. Portanto atualmente muitos investimentos são realizados em usinas de reciclagem desses resíduos de construção, onde os mesmos são triturados e separados de acordo com a classe de utilização seguindo a resolução do CONAMA além de sua granulometria.

O ciclo da reciclagem se dá inicialmente pela geração do resíduo dentro do canteiro de obras, onde a usina de reciclagem fornece as caçambas para coleta e armazenamento dos entulhos gerados. Após as caçambas voltarem para a usina é feito a triagem do entulho, onde os materiais passíveis de reutilização vão para a britagem, e os demais são dados outra destinação. Em seguida o RCD reciclado é comercializado novamente para os diversos usos na construção civil (FUTURE RECICLAGEM INTELIGENTE, 2022).

### Pavimentação

O DNIT IPR - 719 (2006, p. 95) define o pavimento como sendo:

O pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato resultando daí um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego. (DNIT IPR- 719, 2006, p.95).

Segundo Bernucci (2008) o pavimento é composto por camadas de base, sub-base, e

reforço do subleito, o qual deve resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima. As camadas que compõem o pavimento possuem importância estrutural, pois limitam as tensões e deformações na estrutura do pavimento através da combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes (BERNUCCI *et al.*, 2008, p. 09 e 157).

De acordo com DNIT (2006), boa parte dos pavimentos são compostos por uma mistura de agregados minerais com ligantes asfálticos, proporcionando ao pavimento impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e tráfego do local.

## Classificação dos pavimentos

Para DNIT (2006), os pavimentos variam de acordo com os materiais que são empregados entre eles, podendo ser classificados em: flexíveis, semirrígidos e rígidos.

Pavimentos rígidos, possuem revestimento de concreto de cimento Portland e os flexíveis, revestimentos de concreto de cimento asfáltico de petróleo, enquanto os pavimentos semirrígidos possuem revestimento asfáltico e a base com cimento Portland (Balbo, 2007).

### Pavimento Flexível

De acordo com Filho e Rocha (2018), o pavimento flexível, é composto por uma camada de revestimento asfáltico, apoiados sobre camadas de base, sub-base e reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos.

Como esse tipo de pavimento é composto basicamente por agregados em suas camadas, os mesmos são responsáveis por suportar e transmitir as cargas aplicadas pelos veículos e resistir ao desgaste sofrido pelas solicitações. Tais camadas sofrem deformação elástica significativa, no qual a carga acaba se distribuindo em parcelas equivalentes (DNIT IPR - 719, 2006, p. 95).

### Pavimento Rígido

DNIT (2006) classifica o pavimento rígido, como sendo todo aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado, como por exemplo o pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland.

Para Bernucci *et al.* (2008), os pavimentos rígidos possuem o revestimento em placa de concreto de cimento Portland, nesses pavimentos a espessura é fixada em função da resistência a flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes. As placas de concreto podem ser armadas ou não com barras de aço, usualmente as placas de concreto se apoiam em uma ou mais camadas de suporte (base e sub-base).

Em pavimentos rígidos o campo de tensões é bem mais disperso, com os efeitos de carga distribuídos de maneira semelhante em toda a dimensão da placa.

### Pavimento Semirrígido

Segundo o Manual Pavimentos Flexíveis e Rígidos do DER-Paraná (2008), pavimentos

semirrígidos apresentam sua base cimentada quimicamente e são compostos pelo revestimento, base cimentada, sub-base granular, reforço do subleito e subleito. Bem como em pavimentos flexíveis, os pavimentos semirrígidos também são revestidos de material asfálticos, diferenciado pela presença de ligantes hidráulicos (cimento Portland ou cal hidratada) em sua base, com a finalidade de alcançar uma camada com rigidez suficiente para resistir às cargas de tráfego de projeto.

Para Balbo (2007), um pavimento semirrígido, deve possuir revestimento asfáltico e uma camada composta por material estabilizado com ligante hidráulico, assim o seu comportamento tende a se apresentar entre o pavimento flexível e rígido, conforme a disposição e tipo de materiais empregados.

## Camadas do pavimento

O pavimento é composto estruturalmente para receber e transmitir esforços, aliviando pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente, são menos resistentes. O pavimento não necessariamente deve possuir camada de sub-base ou de reforço, porém o revestimento e subleito indispensáveis para que a estrutura seja chamada de pavimento. A estrutura do pavimento é composta por subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (BALBO, 2007).

### Camadas de base

De acordo com a norma do DNIT 141 (2010) a camada de base é a “camada da pavimentação destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado”.

A base é a camada estruturalmente mais importante do pavimento. Sua capacidade estrutural será dada pelas propriedades de resistência e rigidez de cada material nela empregado. A base geralmente é construída com materiais estabilizados granulometricamente ou quimicamente, através de aditivos como cal, cimento, betume, entre outros (DNIT, 2017, p.4).

Conforme NBR 15115 (ABNT, 2004), para atender a camada de base, o índice de Suporte Califórnia (ISC) deve ser  $\geq 60\%$ , a expansão  $\leq 0,5\%$ , utilizando a energia de compactação intermediária. É permitido o uso somente para vias de tráfego com  $N \leq 106$  repetições do eixo-padrão de 80 kN no período de projeto.

### Camadas de sub-base

A norma do DNIT 139 (2010), estabelece que a sub-base é a “camada de pavimentação, complementar à base e com as mesmas funções desta executada sobre o subleito ou reforço do subleito, devidamente compactado e regularizado”. Ela pode ser utilizada para reduzir a espessura da base, exercendo as mesmas funções, de forma complementar a esta última. A sub-base tem como função básica resistir às cargas transmitidas pela base e controlar a ascensão capilar da água, quando for o caso (DNIT, 2017, p.4).

De acordo com Medina e Motta (2015) sub-base é a camada superior ao reforço de subleito, ou complementar a base, onde em qualquer circunstância não seja construído o pavimento sobre o leito obtido pelo terraplenagem.

A norma do DNIT 139 (2010) estabelece sistemáticas na execução da camada aplicadas em solos estabilizados granulometricamente. O CBR da camada de base deve ser  $\geq 20\%$ , já a expansão  $\leq 1,0\%$  na energia de compactação intermediária, conforme (ABNT NBR 15115, 2004).

### **Camadas de reforço de subleito**

O subleito é composto por material natural consolidado e compactado, onde os esforços exercidos sobre esta superfície são aliviados em sua profundidade (BALBO, 2007).

A norma DNIT 138 (2010) define o reforço de subleito como a camada executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito.

O CBR  $\geq 12\%$ , expansão  $\leq 1,0\%$  na energia de compactação normal, conforme a NBR 15115 (ABNT, 2004).

### **Camadas de subleito**

O subleito é composto de material natural consolidado e compactado, onde os esforços impostos sobre esta superfície serão aliviados em sua profundidade, portanto, deve-se ter maior preocupação em sua parte superior, onde os esforços solicitantes atuam com maior magnitude (BALBO, 2007).

### **Estabilização granulométrica**

A brita graduada simples (BGS) é um dos materiais granulares mais utilizados como base e sub-base de pavimentos, são puramente granulares, flexíveis e estabilizadas granulometricamente pela compactação de um material ou de mistura de materiais que apresentem uma granulometria apropriada e índices geotécnicos específicos, fixados em normas (DNIT, 2006).

A norma do DNIT 141 (2010) define a estabilização granulométrica como sendo o “processo de melhoria da capacidade resistente de materiais “in natura” ou mistura de materiais, mediante emprego de energia de compactação adequada, de forma a se obter um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade”.

De acordo com Senço (2001) na estabilização granulométrica, as distribuições dos vazios dos grãos maiores são preenchidas pelos grãos médios, e os vazios desses, pelos miúdos. O DNIT estabelece faixas de serviço, especificando tolerâncias de tais materiais passantes em determinadas peneiras, para o enquadramento nas faixas granulométricas, sendo assim estabilizada.

### **Estabilização química**

A estabilização química é definida como qualquer procedimento no qual um material químico cimentício ou não, é adicionado ao solo gerando melhorias em suas propriedades físicas e mecânicas.

A norma NBR 12253:2012 define solo-cimento como um “produto endurecido resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabele-

cidas através de dosagem, e executada de acordo com a NBR 12254:2013”. A mesma norma ainda recomenda que o teor mínimo de cimento em massa seja de 5%.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) o solo-cimento pode ser definido como: “Material proveniente de mistura de solo, cimento e água em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório, de forma a apresentar determinadas características de resistência e durabilidade”.

## Utilização do RCD em camadas da pavimentação

O resíduo de construção e demolição vem sendo bastante pesquisado e utilizado na pavimentação por apresentar baixo custo de produção, elevando a procura pelo material, visto que ele é comercializado com um preço inferior aos agregados tipicamente utilizados, proporcionando assim, maior economia, pois o seu uso diminui custos de investimento na infraestrutura urbana, além de aumentar a vida útil dos aterros (ARAUJO, 2020).

Os requisitos que o RCD deve apresentar para ser usado na pavimentação, segundo a NBR 15115 (ABNT, 2004), estão ilustrados no TABELA 1.

**Tabela 1- Requisitos do RCD para uso na pavimentação**

Propriedades / Especificações	NBR 15115		
Dim. Max. Característica (max. 2/3 da camada)	63,5mm		
Coefficiente de curvatura (Cc)	-		
Coefficiente de uniformidade (Cu)	≥ 10		
Passante na peneira 0,42mm	Entre 10 e 40%		
Estabilização com aglomerante	Resistência a compressão simples após 7 dias ≥ 2,1 Mpa (Energia especificada)		
Grãos lamelares na fração graúda (> 4,8mm)	≤ 30%		
Materiais indesejáveis	≤ 2 A 3%		
Camada	CBR (%)	EXPANSÃO (%)	ENERGIA
Reforço do subleito	≥ 12	≤ 1	Normal
Sub-base	≥ 20	≤ 1	Intermediária
Aplicação à base quanto ao número de tráfego	N ≤ 10 ^ 6		
Base	≥ 60	≤ 0,5	Intermediária

Fonte: adaptado de NBR 15115 (ABNT, 2004)

Os parâmetros normalmente considerados para o uso do RCD na pavimentação limitam-se à aplicação em vias com baixo volume de tráfego (N s 10°), apresentando controle de suas propriedades através da granulometria, forma dos grãos, percentual de contaminantes, CBR (BEJA, 2014). Os ensaios realizados para comprovar eficiência no uso do RCD, são os mesmos ensaios feitos com o agregado natural.

De acordo Beja, (2014) a prefeitura municipal de São Paulo é referência no uso de agregado reciclado em pavimentação de vias urbanas, disponibiliza instruções para o dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio (IP-04) e especificação de serviço para camadas do pavimento.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado os materiais utilizados na pesquisa, além do procedimento metodológico para atingir o objetivo proposto.

## Materiais

Para a pesquisa foi elaborada uma mistura de diferentes granulometrias do resíduo de construção e demolição (RCD) e acrescentado diferentes porcentagens de cimento Portland.

### Resíduo de construção e demolição - RCD

No desenvolvimento da pesquisa é utilizado o resíduo classificado pelo CONAMA como classe A. As amostras do resíduo foram coletadas na Future Reciclagem Inteligente, usina de reciclagem localizada na cidade de Cascavel – PR.

**Figura 1- Future reciclagem inteligente**



**FONTE: O Autor (2022)**

Foram coletadas amostras comercializadas pela usina como brita 2, brita 1 e uma mistura de pedrisco e areia, comercializada principalmente para o assentamento de paver. Tais amostras foram quarteadas e preparadas para o ensaio da caracterização granulométrica.

**Figura 2 - Amostras do RCD coletado**



**Fonte: O Autor (2022)**

A TABELA 2 apresenta os valores da análise granulométrica realizada com o RCD coletado na Future, onde foram separadas 2 amostras para cada granulometria coletada com a finalidade de avaliar as possíveis variações.

Tabela 2 - Porcentagem passante do RCD

Abertura das peneiras (mm)	BRITA 2		BRITA 1		PEDRISCO + AREIA	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2
	Passante (%)	Passante (%)				
50,8	100	100	100	100	100	100
25,4	100	100	100	100	100	100
9,5	0	0	3	6	100	100
4,8	0	0	0,5	1	84	84
2	0	0	0,5	1	66	66
0,42	0	0	0	0,5	34,5	34,5
0,074	0	0	0	0	3,5	3,5
FUNDO	0	0	0	0	0	0

FONTE: O Autor (2022)

É possível observar que a variação granulométrica entre as amostras é mínima, como o esperado, contando que a usina possui um alto controle de qualidade além de possuir um processo de britagem muito bem executado.

### Cimento Portland

O Cimento Portland adicionado ao RCD possui a finalidade de estabilizar quimicamente a camada do pavimento, o qual é utilizado em diferentes teores na mistura estabilizada granulometricamente.

Foram moldados 18 corpos de prova para o ensaio, substituindo em massa seca os agregados da mistura de acordo com respectivos teores de adição de cimento que foram 4% 6% e 8% além de terem sido moldados 3 corpos de prova de referência contendo apenas o RCD, conforme a FIGURA 3.

Figura 3 - Corpos de prova moldados para o ensaio de RCS



Fonte: O Autor (2022)

### Métodos

O programa experimental relativo à caracterização física e o comportamento mecânico do RCD, será realizado de acordo com as metodologias e os procedimentos presentes na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

## Ensaio de compactação

O objetivo do ensaio de compactação é determinar o valor de umidade que leva o maior valor de massa específica seca, para a energia de compactação aplicada. O ensaio seguiu a norma DNER ME 162/94 Solos – Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas, o qual consiste na compactação do material passante na peneira de 19 mm, com um soquete de 4,536kg, em um molde cilíndrico metálico de 15,24cm de diâmetro interno e 17,78cm de altura.

O DNIT (1994) determina três energias de compactações a serem aplicadas, diferidas pela quantidade de golpes a ser empregada em cada uma das cinco camadas. A energia escolhida para esta pesquisa foi a intermediária aplicada com 26 golpes e foi realizada inicialmente para o RCD puro. O ensaio foi replicado cinco vezes com o reuso do material aumentando o teor de umidade sempre em 2% em cada compactação, para a caracterização da curva de compactação.

Figura 4 - desenvolvimento do ensaio de compactação



Fonte: O Autor (2022)

## Ensaio de Índice de suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia é o principal método de avaliação da resistência do solo para o dimensionamento de pavimentos através do método DNER (1981), sua função é determinar a resistência a penetração no solo através de um pistão padronizado, em uma amostra que foi submetida a imersão em água por 96 horas.

O valor obtido é normalizado em função do ISC de uma brita padrão cujo valor é 100%, sendo possível ainda, determinar a expansão da amostra, através da diferença inicial e final de volume.

**Figura 5 - Preparação para o ensaio de expansão**



Fonte: o Autor (2022)

Assim como o ensaio de compactação, o ensaio foi realizado para a mistura de 15% brita 2, 15% brita 1 e 70% pedrisco + areia. O ensaio seguiu a norma DNIT – ME 172/2016 – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Após as 96h de imersão para análise da expansão, os corpos de prova foram postos sobre a prensa manual para o ensaio de CBR.

**Figura 6 - Desenvolvimento do ensaio de CBR**



Fonte: O Autor (2022)

### **Ensaio de Resistência a Compressão Simples (RCS)**

Para verificar a resistência a compressão da mistura, foram moldados 6 corpos de prova para cada teor de cimento diferente, seguindo as normas do DNIT 143/2010 Pavimentação – Base de solo-cimento, NBR 11803/2013 - Materiais para base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento – Requisitos e a NBR 12261/2013 - Dosagem de brita graduada tratada com cimento – Procedimento.

**Figura 7- Moldagem dos corpos de prova e cura úmida**



Fonte: O Autor (2022)

O ensaio de RCS é muito utilizado para o controle de amostras de concreto de cimento Portland, onde os corpos de prova de 100 x 200 mm, após submissão a cura úmida são ensaiados através de um carregamento contínuo e sem choques e a carga máxima adotada como a carga de ruptura do corpo de prova.

**Figura 8 - Ensaio de RCS**



Fonte: O Autor (2022)

## RESULTADOS

Ao longo do capítulo estão os resultados alcançados com o objetivo de encontrar os parâmetros de resistência da mistura em estudo.

### Estabilização granulométrica

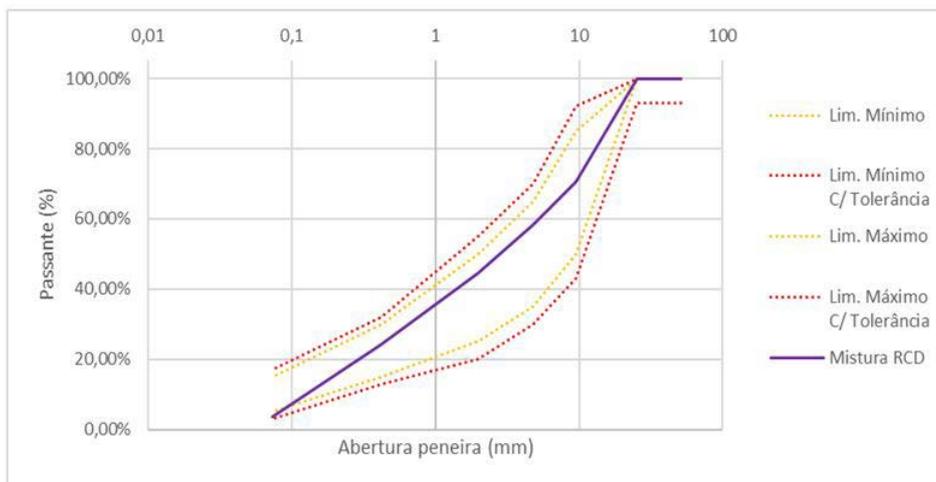
Para as análises tomou-se como referência os limites de faixa granulométrica C do DNIT 141/2010, para bases estabilizadas granulometricamente. As porcentagens médias passantes em cada peneira, para a mistura de 15% Brita 1, 15% brita 2 e 70% da mistura de pedrisco + areia está apresentado na TABELA 3.

**Tabela 3 - Composição granulométrica do RCD**

Abertura das peneiras	Abertura das peneiras (mm)	Lim. Mínimo	Lim. Mínimo C/ Tolerância	Lim. Máximo	Lim. Máximo C/ Tolerância	Passante (%)
2"	50,8	100,00%	93,00%	100,00%	100,00%	100,0%
1"	25,4	100,00%	93,00%	100,00%	100,00%	100,0%
3/8"	9,5	50,00%	43,00%	85,00%	92,00%	70,7%
N° 4	4,8	35,00%	30,00%	65,00%	70,00%	58,2%
N° 10	2	25,00%	20,00%	50,00%	55,00%	44,5%
N° 40	0,42	15,00%	13,00%	30,00%	32,00%	24,3%
N° 200	0,074	5,00%	3,00%	15,00%	17,00%	3,5%

Fonte: O Autor (2022)

**Gráfico 1 - Curva granulométrica da mistura 15% brita 2, 15% brita 1 e 70% pedrisco + areia**



Fonte: O autor (2022)

De acordo com mostrado na TABELA 3 é possível observar que a mistura se enquadra totalmente na faixa C proposta pelo DNIT para bases estabilizadas granulometricamente.

Pelo fato dos materiais serem comercializados com um granulometria muito bem discriminada, mostrou-se eficaz a composição de granulometrias para a estabilização física da mistura.

## Compactação

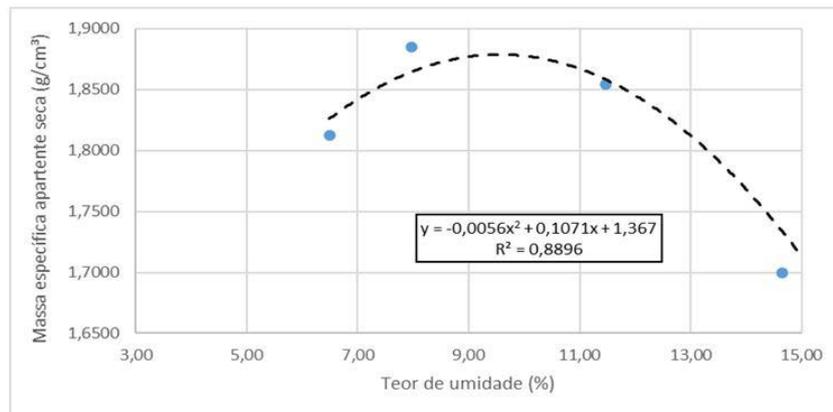
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da mistura do RCD puro, o qual foi obtida a curva de compactação. Para as misturas estabilizadas com adição de cimento Portland tomou-se como parâmetro os resultados obtidos na curva de compactação da mistura granulométrica.

Na TABELA 4 estão representados os resultados do ensaio de compactação do RCD puro, bem como a sua a sua curva de compactação.

**Tabela 4 - resultado do ensaio de compactação do RCD**

Ponto	Umidade (%)	Massa específica aparente seca(g/cm <sup>3</sup> )
1	6,49	1,8128
2	7,97	1,8854
3	11,47	1,8545
4	14,65	1,6996
5	15,17	1,7333

Fonte: O Autor (2022)

**Gráfico 2 - Curva de compactação**

Fonte: O Autor (2022)

A partir dos resultados obtidos na curva de compactação foi possível determinar os valores de umidade ótima de 9,563% e massa específica aparente seca máxima de 1,8791 g/cm<sup>3</sup>.

Durante a execução do ensaio foi observado uma tendência de quebra do material graúdo, devido a fragilidade de alguns materiais, o qual pode tornar a mistura mais fina e alterar a curva granulométrica original.

Araújo (2020), obteve em sua análise teores de umidade ótima para o solo natural para a energia intermediária foi de 14,1% e para a adição de 15% de RCD na mistura foi de 11,6%, onde foi observado que com a adição do RCD a umidade ótima da mistura veio a diminuir pela presença de agregados a mistura. Outra análise que Araújo (2020) fez foi aplicando e analisando as três energias de compactação na mistura do solo mais o RCD, o qual a medida em que a energia fosse aumentada, a diminuição do número de vazios também aumenta, reduzindo os teores de umidade, o qual proporciona um aumento na resistência ao cisalhamento e a erosão.

Brito (2020), obteve teor de umidade ótima para o RCD puro na energia intermediária de 14,6%.

## Índice de suporte California – ISC

A tabela a seguir representa os parâmetros estabelecidos por norma para o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC).

**Tabela 5 - Parâmetros normativos**

<b>MATERIAL</b>	<b>ENERGIA DE COMPACTAÇÃO</b>	<b>EXPANSÃO (%)</b>	<b>ISC (%)</b>
<b>Reforço de Subleito</b>	Normal	≤ 1,0	≥ 12
<b>Sub-base</b>	Intermediária	≤ 1,0	≥ 20
<b>Base</b>	Intermediária	≤ 0,5	≥ 60

**FONTE: Adaptado de NBR 15115 (ABNT, 2004)**

Para realização do ensaio de, foi utilizado a umidade ótima encontrada através do ensaio de compactação para o RCD puro. Os resultados obtidos são apresentados na TABELA 6.

**Tabela 6 - Resultado do ensaio de compactação do RCD**

<b>ENSAIO</b>	<b>EXPANSÃO (%)</b>	<b>ISC (%)</b>
1	0	24,25
2	0	96,19
3	0	43,83
4	0	96,19
5	0	81,85
MÉDIA	0	68,46
DESVIO PADRÃO	0	32,70
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	0	47,77

**Fonte: O Autor (2022)**

Durante a realização do ensaio o resíduo não apresentou expansão após 96 horas imerso, como esperado de materiais granulares inertes.

Com o ISC médio encontrado de 68,46%, é possível classificar e aplicar o RCD puro ao reforço de subleito, camadas de sub-base e base de pavimentos. Porém os dados tiveram grande variação, um fator que influenciou nos resultados foram a presença de agregados graúdos na mistura, que pode ficar embaixo do pistão, dificultando a penetração e implicando na variação do ISC.

Brito (2020), realizou o ensaio para o RCD puro e também encontrou resultados variáveis do ensaio, tendo em média ISC de 73%.

Otubo (2021), em seu trabalho buscou estabilizar o solo com resíduo de material cerâmico, analisando diferentes teores do resíduo observou que até o teor de 35% solo e 65% RCD encontrou um ISC de 78,3%, se aumentado o teor de resíduo, os resultados também diminuiram justificado principalmente pelo material empregado a análise, podendo considerar que com 65% de RCD é uma mistura ideal para a estabilização buscada.

## **Estabilização química e RCS**

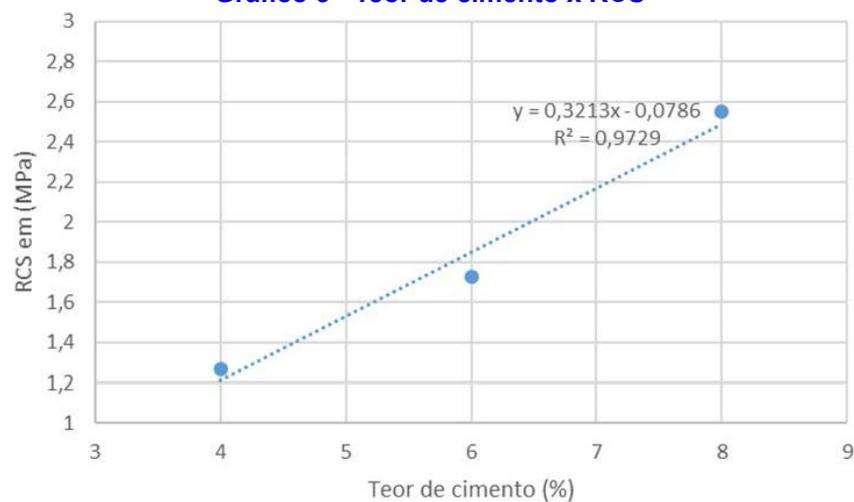
A estabilização química foi realizada através da adição de cimento Portland CP V-32, nos teores de 4, 6 e 8% pela substituição em massa seca da mistura. Os corpos de prova foram submetidos à cura úmida por 7 dias e os resultados do ensaio de resistência à compressão simples são apresentados na TABELA 7.

Tabela 7- Resultados do ensaio de RCS

Teor de Cimento Nº do CP	0%	4%	6%	8%
1	-	1,32	1,67	2,21
2	-	1,45	1,72	2,52
3	-	1,26	1,64	2,93
4	-	1,16	1,65	2,72
5	-	1,36	1,76	2,55
6	-	1,06	1,91	2,39
MÉDIA	-	1,27	1,73	2,55
DESVIO PADRÃO	-	0,14	0,10	0,25
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	-	11,11	5,87	9,84

Fonte: O Autor (2022)

Gráfico 3 - Teor de cimento x RCS



Fonte: O Autor (2022)

As normas brasileiras que tratam sobre solo-cimento, afirmam que o valor de resistência média a compressão simples seja igual ou superior a 2,1 MPa aos sete dias. Após realização do ensaio constatou-se o melhor desempenho a mistura com 8% de cimento, obtendo resistência de 2,55 Mpa, média superior ao exigido por norma.

Os corpos de prova de referência constituídos apenas do RCD puro após serem desmoldados estavam quebradiços e frágeis, partindo-se quando eram tocados, dessa forma não foi possível a realização do ensaio de RCS com essas amostras.

Sartori (2015), estudou a ação do cimento adicionado como estabilização do solo natural, e encontrou resultados similares, onde que para 10% de adição de cimento a média da tensão foi de 2,83 Mpa ao 7º dia.

No estudo feito por Caneppele (2016), a adição de 7% de cimento ao solo residual atingiu aproximadamente 2,40Mpa ao 7º dia, satisfazendo a normativa que exige no mínimo 2,1Mpa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A granulometria do resíduo de construção e demolição adquirido na usina de reciclagem é muito bem definida no processo de produção do agregado, portanto é necessário que seja feita uma composição das granulometrias existentes na usina, para assim adequar nas faixas de serviço para a utilização na pavimentação.

Com os resultados obtidos nos ensaios do Índice de Suporte Califórnia (ISC) foi possível confirmar utilização do RCD em camadas do pavimento. Com resultado médio de 68,46%, é possível empregar o RCD puro em camadas de reforço de subleito, sub-base e até mesmo como camada de base do pavimento.

Como foram obtidos de certa forma resultados variáveis entre os ensaios do ISC, foi utilizado cimento como forma de estabilizar o RCD, obtendo resultados mais positivos para as amostras. Para o teor de adição de cimento de 8% foi encontrada resistência medida de 2,55Mpa, superior ao parâmetro exigido por norma que é 2,1Mpa.

De um modo geral, com os resultados obtidos na pesquisa se torna evidente o grande potencial de reutilização do RCD, principalmente quando estabilizado quimicamente. O reaproveitamento deste material, considerando o alto volume gerado e o grande descaso quanto ao destino do mesmo, se torna de extrema importância, afinal é possível reutilizar toneladas de agregados com potencial de reutilização, desde que aplicados de forma correta.

## REFERÊNCIAS

ALBERTE, E.P.V; HANDRO, J.B. Estado do conhecimento acerca de especificações técnicas e normativas para agregados reciclados de RCD. 2021, v. 21, n. 3 [acessado 21 março 2022], pp. 305-320. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000300553>>. E pub 24 maio 2021. ISSN 1678-8621. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000300553>.

ALMEIDA, J. ET AL; Estudo de viabilidade econômica do uso do agregado de RCD em pavimentação de vias. 2018, n. 54, 16-25. [acessado 21 março 2022]. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n54/Pag.16-25.pdf>>. E pub 16 março 2018.

ARAUJO, C. L. de. ESTUDO GEOTÉCNICO DE SOLO-RCD PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO. 2020. 49 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5073>>. Acesso em: 02/05/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil no ano de 2020. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>> Acessado em: 30/04/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil no ano de 2021. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>> Acessado em: 30/04/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 26: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro: 2001. 17 p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 27: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: 2001. 14 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro: 2016. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: 2003. 21 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: 2003. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: 2018. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7809: Agregado graúdo — Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro — Método de ensaio. Rio de Janeiro: 2019. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: 2004. 10 p.
- BALBO, José Tadeu; Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p.
- BARRETO, A. C., AMORIM, E. F. Avaliação do desempenho técnico de diferentes misturas de solo com Resíduos De Construção (RCD) para uso em obras viárias. *Holos*. 36 (7), 1-20. [acessado 23 março 2022]. Disponível em: <<http://orcid.org/0000-0001-7386-3956>>. E pub 14 dezembro 2020. <<http://orcid.org/0000-0001-7386-3956>>.
- BEJA, I. A. Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos. São Paulo: 2014. 219 p. Disponível em: < [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-16102014-151237/publico/Dissertacao\\_IgorAmorimBeja.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-16102014-151237/publico/Dissertacao_IgorAmorimBeja.pdf)> acessado em: 02/06/2022
- BERNUCCI, Liedi Légi Bariani *et al.* Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro. Petrobrás, 2008. 501p.
- BONFIM, Valmir. Pavimento Sustentável. São Paulo, 2021. 162 p.
- BRITO, A. F. S. Resíduo de construção civil: utilizado como base e sub-base na pavimentação de vias. Palmas: 2020. 67 p. Disponível em: <<http://ulbra-to.br/bibliotecadigital/publico/home/documento/1885>>. Acessado em 28/09/2022.
- CANEPPELE, J. W. Estabilização de um solo residual com adição de cimento Portland. Lajeado: 2016. 72 p. Disponível em < <https://core.ac.uk/download/pdf/79834509.pdf>>. Acessado em 10/10/2022.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2021. 2021a. disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial>> acessado em: 20/04/2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. Investimentos da União e das Concessionárias em infraestrutura de transporte. 2021b. Disponível em: <<https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/c62617f5-a134-463b-b093-4b6c9cf87ae8.pdf>> acessado em: 22/04/2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº. 307 Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002. Disponível em: <[http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=305](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305)> acessado em: 15/04/2022.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS – DER. Norma de Pavimentos Flexíveis e Rígidos. 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. Manual da pavimentação. Rio de Janeiro: 1996. 327 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. ME 035/98 – Agregados – determinação de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro: 1998. 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. ME 080/94 – Solos – análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro: 1994. 4 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. ME 082/94 – Solos – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: 1994. 3 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. ME 122/94 – Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro: 1994. 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes, Vol. 10, Pavimentação/Usinagem, Brasília, 2017. <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro/manuais-de-custos-de-infraestrutura-de-transportes/volume-10-manuais-tecnicos/volume-10-manuais-tecnicos>> acessado em: 15/05/2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DNIT - 719: Manual da pavimentação. Rio de Janeiro: IPR: 2006; <<https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-Pavimentacao-719-DNIT-2006.pdf>> acessado em: 24/05/2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DNIT 138/2010 – ES: Pavimentação – Reforço do subleito - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: 2010. 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DNIT 139/2010 – ES: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: 2010. 8 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DNIT 141/2010 – ES: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: 2010. 9 p.

FILHO, J. M. M. de; ROCHA, E. G. A. de. Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 06, Vol. 02, pp. 146-163: 2018. ISSN:2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/artigo-cientifico/pdf/pavimentos-flexivel.pdf> Acesso em: 05/06/2022

FUTURE RECICLAGEM INTELIGENTE. SAIBA COMO FUNCIONA O CICLO DE RECICLAGEM. Cascavel, 2022. Disponível em: <<https://www.future.eco.br/#telaCiclo>> Acesso em: 26/05/2022.

MEDINA, J. De; MOTTA, L.M.G. DA. Mecânica dos pavimentos. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 638 p.

MOTTA, R. S. Dos. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. <doi: 10.11606/D.3.2005.tde-19072006-114729>. Acesso em: 07/06/2022.

OTUBO, A. T. R. Estabilização de solos com o uso de resíduos cerâmicos da construção civil.. Ilha Solteira – SP. 2021. Disponível em <<http://hdl.handle.net/11449/214555>>. Acessado em: 11/10/2022.

SANTOS, J. O; ARAÚJO, C. B. C. de; AYRES, T. M. C. da. Análise da Utilização de RCD em Obras de Pavimentação na Cidade de Fortaleza. MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 65-72, jul. 2019. ISSN 24473073. Disponível em:. <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsus-tentavel>> Acesso em: 06/05/2022. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n3.65-72>.

SARTORI, G. Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão. Campo Mourão: 2015 Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6345> Acesso em: 11/10/2022.

SENÇO, Wlastermiller de. Manual de Técnicas de pavimentação: volume 1. 2ª edição. São Paulo: PINI, 2007.

SENÇO, Wlastermiller de. Manual de Técnicas de pavimentação: volume 2. 1ª edição. São Paulo: PINI, 2001.



# **Estudo comparativo entre concreto protendido e concreto armado em diferentes modelos estruturais para uma mesma edificação**

---

Nícollas Braga De Souza

*Graduando no curso de Engenharia Civil (UniRedentor)*

Thiago de Freitas Pimenta

*Graduando no curso de Engenharia Civil (UniRedentor)*

Arthur Almeida Tavares

*Professor Especialista do curso de Engenharia Civil (UniRedentor)*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.8

## RESUMO

A finalidade do trabalho é a simulação de quatro modelos estruturais, dois modelos em concreto armado e dois modelos utilizando a técnica de protensão em lajes, de forma a extrair os quantitativos e orçamento de cada estrutura, a fim de, juntamente com o embasamento teórico, mostrar a viabilidade da técnica de protensão em lajes em edificação multifamiliar de 12 andares.

**Palavras-chave:** estrutura. lajes. protensão. análise.

## INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário e a construção civil são dois segmentos que conseguiram continuar em alta mesmo durante a pior fase da pandemia do Covid-19. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), em 2020 as vendas de unidades residenciais novas cresceram 9,8% no Brasil. Para este ano (2022), as previsões são de crescimento entre 5% e 10% diante de uma alta de 3% do PIB. (CBIC, 2021)

A Terceira Revolução Industrial conhecida como Revolução Técnico-Científica trouxe diversas mudanças para todos os setores da sociedade moderna, a construção civil não ficou de fora desse processo e cada vez mais passa a fazer uso desses recursos no sentido de facilitar e acelerar o processo produtivo do setor, oferecendo serviços e produtos com qualidade e segurança. (Gomes, 2002)

Toda empresa tem como objetivo aumentar a produtividade nas obras a fim de diminuir custos e despesas, o que pode ser feito com maior investimento em tecnologia na construção civil. Se existe aumento da produtividade, existe também um aumento na eficiência dessa construtora. É preciso entender o significado de produção e produtividade, produção é o resultado da atividade executada em uma empresa dentro de um período e produtividade é a capacidade de se produzir mais utilizando cada vez menos tempo, dinheiro e mão de obra. (Pereira, 2019)

O uso da solução em concreto protendido para lajes de edifícios tem crescido nos últimos anos no Brasil. Fenômeno esse que se deve em grande parte à utilização do sistema de protensão não-aderente com a entrada da monocordoalha engraxada plastificada no mercado brasileiro. O concreto protendido vem encontrando uma aplicação cada vez maior em estruturas de edifícios devido à necessidade de vencer vãos livres de grandes dimensões com elementos de altura reduzida. (Emerick, 2002)

O presente estudo refere-se a análise estrutural em uma edificação multifamiliar composta por 12 pavimentos, comparando o uso de concreto armado x concreto protendido em diferentes simulações de modelos estruturais, tendo como objetivo encontrar a melhor opção para a arquitetura disponível, realizando sempre a compatibilização entre os demais projetos complementares.

## Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- A elaboração de duas simulações em concreto armado: estrutura em lajes maciças convencionais apoiadas em vigas e estrutura em lajes nervuradas;
- A elaboração de duas simulações em concreto protendido: estrutura com lajes planas protendidas e lajes nervuradas protendidas.
- O comparativo dos quatro modelos estruturais, levando em conta quesitos como: cargas nas fundações, número de estacas, quantitativo de materiais, tempo de execução, complexidade da armação dos elementos, liberdade arquitetônica, tecnologia construtiva e valor final da edificação, a fim de demonstrar os benefícios das estruturas.

## Metodologia

Foram usados os seguintes softwares na obtenção dos resultados:

- Eberick 2022, Alto Qi: cálculo e dimensionamento dos elementos estruturais em concreto armado e protendido;
- Adapt-Builder 2019, Risa: cálculo e dimensionamento das lajes protendidas;
- Peikko 2021, Peikko Group Global: análise de punção e cisalhamento causado pelos pilares diretamente em contato com a laje.
- Office 360, Microsoft 2022: Uso do pacote para elaboração de planilhas de cálculos, cronogramas, produção de textos etc.;
- Revit 2021 e Autocad 2021, AutoDesk: Elaboração e manipulação de plantas e desenhos.
- Cálculo da Carga admissível de estacas por SPT, Site Egenhariacivil.com.br: programa em Excel que determina, para projetos, a carga admissível em estacas, tipo fundações escavadas e cravadas. Software que determina a carga total, lateral e de ponta em estacas moldadas, pré-moldadas e cravadas.

Para a elaboração do projeto realizou-se pesquisas em artigos científicos de fontes confiáveis, através destas pesquisas foram utilizados alguns métodos de simulação das estruturas e na realização de seus cálculos. O projeto a ser executado, na primeira etapa foi realizado um cronograma, para estipular prazos a serem cumpridos pela equipe. Na segunda etapa foi discutido quais seriam as simulações apresentadas bem como quais parâmetros de resultados seriam apresentados. A terceira etapa se deu por simular as quatro estruturas e extrair seus resultados. Na quarta foi escrito o artigo para exibição e análise dos resultados obtidos.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As obras de engenharia civil têm como finalidade o domínio de quatro funções: Abrigar: proteger contra as intempéries e demais condições hostis ao ser humano; Conter: dar condição de suporte e equilíbrio a tudo aquilo que está sujeito à ação da gravidade e deve ser impedido de se movimentar; Movimentar: ser refere a movimentação de tudo aquilo que deve ir de um lugar de um ponto para outro; E Transpor: ultrapassar obstáculos que impedem a continuidade

do movimento. Cada uma dessas funções exige um determinado tipo específico de estrutura. (Pilotto Neto, 2018)

Projetar é planejar as atividades a serem executadas compatível com o objetivo a ser alcançado. O objetivo do engenheiro estrutural é buscar o melhor uso dos materiais disponíveis com o menor custo possível de construção.

A percepção humana está condicionada a um modo subjetivo ou interpretativo de ver as coisas, podendo ser lógico, imaginativo ou mesmo ilusório. Na engenharia estrutural não basta calcular valores, é preciso saber interpretar os resultados. A Ciência não se baseia em exceções, estabelecendo princípios na realidade objetiva que abrange um todo. (Pilotto Neto, 2018)

## Concreto armado

A palavra “concreto armado” vem da união do concreto com o aço, é o material construtivo mais utilizado no mundo tendo como características: fácil trabalhabilidade, alto desempenho, baixo custo, obtenção de estruturas monolíticas, grande durabilidade (resistência ao fogo), maior resistência mecânica com a idade.

O concreto oferece grande resistência a compressão e pouca resistência a tração, aproximadamente 10% da resistência a compressão, desta forma acrescenta-se o aço, que tem uma alta resistência a tração. O aço ainda fica responsável por grande parte dos esforços de cisalhamento que atuam nas peças de concreto.

O aço e o concreto têm aderência mútua, seus coeficientes de dilatação térmica são praticamente iguais ( $\alpha \approx 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ), o concreto protege o aço contra a corrosão devido a alcalinidade do cimento e a falta de contato com o oxigênio e dióxido de carbono presentes no ar.

As desvantagens em relação a outras soluções estruturais são a dificuldade em realizar modificações depois de pronto; peso próprio elevado e o baixo grau de proteção térmica e acústica.

## Concreto

O concreto é formado pela mistura de cimento Portland, agregados graúdos e miúdos e água. Eventualmente são utilizados aditivos e adições que podem modificar sua trabalhabilidade, assim como o seu comportamento ao longo do tempo e sua resistência. A relação água/cimento influencia diretamente a resistência do concreto. Ao adicionar o agregado miúdo forma-se a argamassa, que tem função de dar coesão à mistura e envolver os agregados graúdos que, quando presentes nessa mistura, formam o concreto. (Adorna, 2021)

A ABNT NBR 8953:2015 classifica os concretos para fins estruturais em dois grupos de resistência, conforme a sua resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), medida em ensaios com corpos de prova normalizados:

**Tabela 1 - Classes de resistência do concreto para fins estruturais**

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão Mpa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão Mpa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: (ABNT, 2015)

## Aço

O aço é utilizado no concreto armado por meio de fios e barras que devem ter sua aderência ao concreto assegurada. O coeficiente de conformação superficial do tipo de armadura a ser utilizado entra para a verificação da aderência entre os dois materiais. Os aços para concreto armado são normalizados pela ABNT NBR 7480(2007), que os divide em três classes em função de suas resistências à tração e outras características mecânicas em CA-25, CA-50 e CA-60.

Os aços de protensão são identificados pela sigla CP (concreto protendido) seguida do valor, em kgf/mm<sup>2</sup>, da tensão aproximada de ruptura do aço que compõem cordoalha, cordões ou fio. Adiciona-se ainda na denominação as siglas RN ou RB indicando se o aço é de relaxação normal ou baixa. Os aços de relaxação baixa são obtidos através de procedimento de fabricação em que recebem um alongamento com temperatura controlada permitindo uma menor perda devido à relaxação.

Assim, as categorias de aço produzidas no Brasil são: CP145RB, CP150RB, CP170RN, CP175RB, CP175RN e CP190RB. Os aços de protensão podem ser fornecidos em barras, fios, cordões e cordas (cordoalhas).

Em relação ao módulo de elasticidade dos fios e barras de protensão pode ser considerado  $E_p = 210.000$  MPa e para as cordoalhas pode-se tomar o valor de  $E_p = 200.000$  MPa. Quando o valor da tensão de escoamento não for dado considera-se:  $f_{pyk} = 0,9 f_{ptk}$ . (Carvalho, Estrutura em Concreto Protendido: Cálculo e Detalhamento, 2012)

## Fundações

Pode-se denominar fundação, todo e qualquer elemento de uma estrutura capaz de transferir para o subsolo os esforços resultantes das cargas da superestrutura. Sendo possível classificá-las em dois tipos: fundações rasas, fundações profundas diretas e indiretas.

Para o estudo em questão, utilizou-se fundação profunda com estacas do tipo raiz, na qual, foi definido como opção mais adequada para o tipo de projeto. Sendo, uma estaca escavada e injetada em que são feitas perfurações no terreno com a retirada de material, posteriormente o local será preenchido com argamassa. Possuindo dessa forma, uma elevada resistência a tração e transmissão de carga por atrito lateral. De acordo Pereira (2019), à estaca raiz possui alta capacidade de carga que pode chegar a 140 tf e elevada tensão de trabalho do fuste.

## Pilares

Pilares são “Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes” (NBR 6118, 2014). A função principal dos pilares é receber o carregamento das vigas e lajes, e transmitir para a fundação. Juntamente com as vigas, os pilares formam os pórticos da estrutura, que são responsáveis por resistir às ações verticais e horizontais, garantindo dessa forma a estabilidade global da estrutura (Pinheiro L. M, 2007).

## Vigas

Vigas são “elementos lineares em que a flexão é preponderantes” (NBR 6118, 2014), portanto, os esforços predominantes são: momento fletor e força cortante. Um elemento linear (também denominado barra) é aquele em que temos pelo menos três vezes o comprimento longitudinal em relação a maior dimensão da seção transversal (Bastos, 2017).

As vigas têm como função individual, delimitar as lajes, suportar as cargas de paredes e receber ações provenientes das lajes ou de outras vigas, devendo sempre realizar a transmissão dos esforços para os pilares ou demais apoios, além de, compor o sistema de contraventamento responsável por proporcionar a estabilidade global da estrutura, resistindo às ações verticais e horizontais (Bastos, 2019)

De acordo com a NBR 6118(2014), a seção transversal das vigas não deve apresentar um valor inferior a 12 cm, e no caso de vigas-parede, este valor não pode ser menor que 15 cm. Sendo possível reduzir tais valores para 10 cm em casos excepcionais.

## Laje maciça

Laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais e transversais para o combate a flexão, podendo ainda ser apoiada em vigas ou paredes ao longo das bordas (Bastos, 2021). Por questão de tradição no Brasil, é costume chamar lajes apoiadas em vigas de borda como lajes maciças, porém lajes lisas e lajes cogumelo também são definidas como lajes maciças, mudando apenas a forma como é feita a transferência das cargas de utilização.

A NBR 6118 (2014), estabelece critérios e limites mínimos para a espessura das lajes de acordo com a sua utilização, podendo alcançar valores maiores em caso de laje em balanço ou com sobrecarga.

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total  $\leq 30$  KN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total  $> 30$ KN;
- 14 cm para lajes cogumelo, fora do capitel;

- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de  $L/42$  para lajes de piso bi apoiadas e  $L/50$  para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas.

As lajes de concreto armado podem ser classificadas seguindo diferentes critérios, como em relação à forma geométrica, tipos de vínculos nos apoios, quanto a direção das armaduras etc. (Bastos, 2021). Sendo interessante destacar, sua classificação referente as direções da armadura principal, podendo ser armada em uma direção ou em duas direções. Quando armada em uma direção, as lajes são calculadas como vigas de acordo com a direção principal, quando armada em duas direções pode-se utilizar a teoria da elasticidade e a teoria das charneiras plásticas.

Para o correto cálculo dos esforços solicitantes e das deformações nas lajes torna-se necessário estabelecer os tipos de vínculos da laje com os apoios, sejam eles pontuais ou lineares. De forma simplificada, os três tipos mais comuns de vínculo de lajes são: apoio simples, engaste perfeito e o engaste elástico. Sendo que, a idealização teórica de apoio simples ou engaste perfeito, raramente ocorrem na realidade, no entanto, a taxa de erro não supera os 10% (Bastos, 2021).

## Lajes nervuradas

A NBR 6118 (2014) define laje nervurada como “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte” Sendo que, o material inerte utilizado não contribui para aumentar a resistência da laje nervurada, servindo apenas para promover a redução de concreto que seria utilizado na região. Portanto, é função das nervuras, unidas e solidarizadas pela mesa (capa), proporcionar a resistência e rigidez necessárias para o elemento estrutural.

Este tipo de laje é particularmente indicado em grandes vãos com medidas superiores a 8 metros, ou para resistir a altas ações verticais, resultando em uma quantidade menor de pilares e vigas. Seu dimensionamento é muito semelhante ao da laje maciça, diferindo apenas na consideração da análise dos esforços por nervura e não por comprimento unitário.

As lajes nervuradas podem ser classificadas como unidirecional (armada em uma direção) ou bidirecional (armada em duas direções ou em cruz), em função da existência de nervuras em uma ou em duas direções (Bastos, 2021). Dessa forma, lajes nervuradas unidirecionais, devem ser calculadas conforme a direção das nervuras, podendo ser desprezadas a rigidez à torção e a rigidez transversa, conforme descrito na NBR 6118 de 2014. Já para as lajes nervuradas bidirecionais, elas podem ser calculadas como laje maciça, sendo descrito na NBR 14859-2, 2016 – Lajes pré-fabricadas de concreto – Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma – Requisitos.

Dentre os materiais que podem ser utilizados no enchimento das lajes nervuradas, destaca-se os blocos de EPS (poliestireno expandido), blocos cerâmicos, bloco de concreto celular autoclavado e fôrmas de polipropileno de alta capacidade. A escolha do tipo de enchimento influencia diretamente na redução de concreto e no peso final da estrutura.

## Projeto estrutural em concreto protendido

A NBR 6118(2003) trata do “Projeto de estruturas de concreto” que engloba o concreto simples (sem armadura), o armado (apenas com armadura passiva) e o protendido (em que parte da armadura é ativa), usando especificações diferentes para as situações peculiares de cada sistema. Em geral os materiais utilizados são os mesmos: cimento, agregados graúdos e miúdos, água e aço. A diferença está no tipo de aço utilizado e na execução dos trabalhos. (Carvalho, 2012)

No concreto armado a armadura longitudinal, normalmente de barras de aço, é empregada próxima as regiões de tensões de tração da estrutura, passando a trabalhar na deformação do concreto em sua volta somente após a retirada das escoras. Desta forma, a armadura em questão é chamada passiva.

No caso do concreto protendido os elementos fletidos a armadura longitudinal principal trabalha antes mesmo da retirada da escora. Esta ocorrência se deve ao fato do aço de protensão ser distendido por macacos hidráulicos externos a estrutura entrando em ação independente da movimentação do concreto. Logo, a armadura de protensão é chamada de ativa. (Carvalho, 2012)

As estruturas de concreto protendido são consideradas uma extensão das de concreto armado, otimizando o uso de aços de grande resistência e concretos de alto desempenho. Alguns autores consideram as estruturas de concreto protendido como um sistema estrutural, pelo fato da protensão introduzir ações na estrutura, modificando-a em seu comportamento.

A NBR7197 (Técnicas, 1989) define que a peça de concreto protendido esteja submetida a um sistema de forças de protensão que impeçam ou limitem a fissuração do concreto. Normalmente só se considera o caso em que as forças de protensão são produzidas por uma armadura. Na nova NBR 6118:2004 conceitua-se como: “Os elementos de Concreto Protendido são aqueles nos quais parte das armaduras são previamente alongadas por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração (e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no ELU (estado limite último) ”.

O concreto possui uma resistência a tração cerca de 10 vezes menor que a compressão. Pelas normas o princípio do concreto protendido é diminuir a fissuração do concreto, introduzindo compressão em regiões que existem tração. Ao se projetar um elemento em concreto protendido tem como objetivo que as tensões sejam somente de compressão ou com uma pequena intensidade de tração. Outro efeito benéfico causado pela protensão, no estado limite último, é usar armaduras com tensões muito mais elevadas que as passivas e submetidas a maiores deformações específicas.

A primeira classificação considera-se o mecanismo de aderência entre a armadura ativa (de protensão) e o concreto, classificadas como:

- com aderência inicial ou pré-tração: a aderência é iniciada no lançamento do concreto;
- com aderência posterior ou pós-tração com aderência: a aderência é iniciada poste-

riormente à execução da protensão, com o concreto já endurecido injeta-se nata de cimento na bainha que isola a armadura de protensão e o concreto;

- sem aderência ou pós-tração sem aderência: a armadura estará solidária ao concreto na região das ancoragens.

Entretanto a NBR 6118(2014) classifica os tipos de protensão da seguinte forma:

- Concreto com armadura ativa pré-tracionada (protensão com aderência inicial) concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é feito utilizando-se apoios independentes do elemento estrutural, antes do lançamento do concreto, sendo a ligação da armadura de protensão com os referidos apoios desfeita após o endurecimento do concreto; a ancoragem no concreto realiza-se somente por aderência.
- Concreto com armadura ativa pós-tracionada (protensão com aderência posterior) concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, criando posteriormente aderência com o concreto, de modo permanente, através da injeção das bainhas.
- Concreto com armadura ativa pós-tracionada sem aderência (protensão sem aderência) concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados.

Relacionam-se com a durabilidade das peças e a forma de se evitar a corrosão da armadura, estando ligados aos estados limites de serviço referentes a fissuração. A armadura ativa corre mais risco de corrosão que as armaduras passivas devido a maior tensão atuante, necessitando de maiores cuidados neste sentido.

O tipo de protensão empregada é definido pelo tipo de construção ou agressividade do meio ambiente, de maneira geral são classificadas como:

- Protensão completa: utilizada em ambientes com agressividade forte ou muito forte
- Protensão limitada: para ambientes com agressividade moderada;
- Protensão parcial: ambientes com fraca e moderada agressividade.

Outras condições de estado de serviço ligados a fissuração devem ser verificados. A intensidade da protensão, a resistência mínima de compressão do concreto e cobrimentos são determinados seguindo a NRB 6118(2014).

### **Vantagens e desvantagens do uso do concreto protendido**

Estruturas de concreto protendido em diversas situações tendem a ser mais econômicas que as construídas utilizando outros materiais. Comparando com estruturas de madeira ou de aço, tem a vantagem de manutenção simples e mais barata. A vantagem sobre o concreto armado é ter a fissuração impedida, ou um controle maior, na região tracionada dos trechos fletidos.

Um estudo do custo do aço estrutural exemplifica a economia desenvolvida nas estru-

turas de concreto protendido. Ao comparar os preços por quilo dos aços CA25, CA50, CA60, CP175 e CP190, mais barato ao mais caro, se tem a impressão de que o ator preço por quilo é o mais econômico. Ao se analisar o custo da força desenvolvida, dividindo o custo do Kg do aço pela tensão de escoamento de cada tipo, demonstra que os aços com maiores tensões limites são mais econômicos, com menor custo por força desenvolvida. Adiciona-se o fato dos aços protendidos não alcançam a máxima tensão devido as perdas sofridas no sistema, compensadas pela diminuição da fissuração. (Carvalho, 2012)

A maior vantagem de utilização do concreto protendido são nas peças fletidas presente nas estruturas, além do custo mais baixo são apresentadas outras vantagens como:

- Estruturas mais leves que as similares em concreto armado devido ao controle da fissuração;
- Maior durabilidade e menor custo de manutenção;
- Boa resistência ao fogo;
- Melhor eficiência no uso de pré-moldados;
- Menores deformações que estruturas fletidas de concreto armado;
- Maior controle da propriedade dos materiais aço e concreto;
- Escoramento e tempo de cura reduzidos.

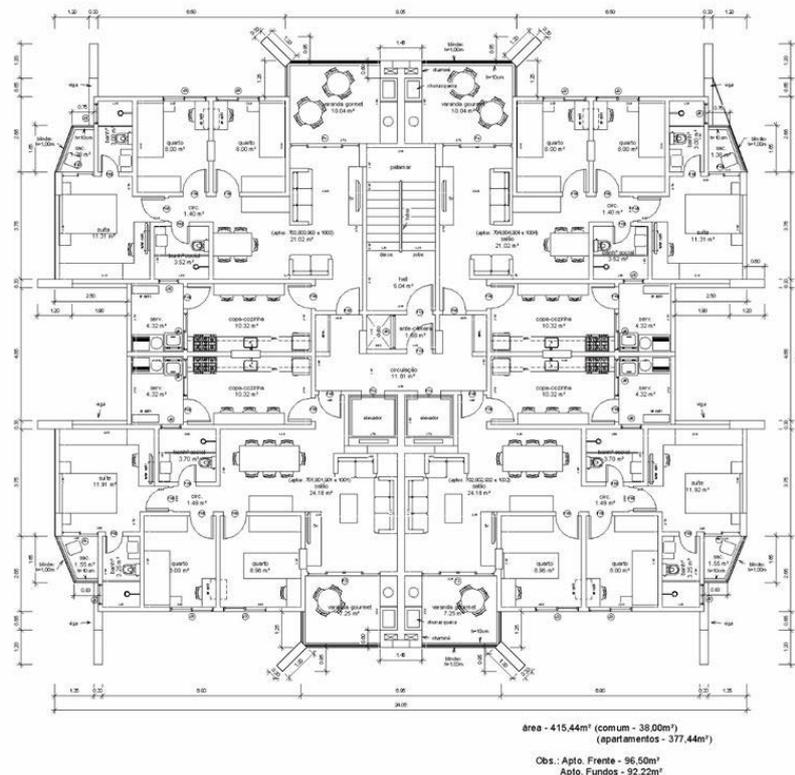
As desvantagens nos sistemas protendidos são comuns as existentes nas estruturas de concreto armado, porém com menor intensidade, sendo:

- Peso final alto em comparação as estruturas metálicas ou de madeira;
- Condutibilidade alta de calor e som;
- Dificuldade em execução de reformas;
- Necessidade de colocação de elementos específicos como bainhas e cabos;
- Impossibilidade da execução de furos nos elementos protendidos;
- Mão de obra específica e necessidade de capacitação profissional.

## DESENVOLVIMENTO

### Projeto arquitetônico utilizado

Para a elaboração do estudo, utilizou-se um projeto arquitetônico de uma edificação residencial de doze pavimentos com uma área total de 5147,34 m<sup>2</sup> situada na cidade de Itaperuna-RJ, projetado pelo engenheiro civil Eliênio Dias Poubel.

**Figura 1 – Planta baixa dos pavimentos tipo.**

**Fonte: Poubel, 2021.**

O edifício foi projetado com o pavimento térreo tendo uma área total de 474,88 m<sup>2</sup>, garagem com vaga para quatro carros com área de 162,62 m<sup>2</sup>. Os pavimentos 2, 3, e 4 são destinados a garagem, com área de 484,88 m<sup>2</sup> cada um com 12 vagas. Do 5º ao 12º andar temos os pavimentos destinados a moradia, com um total de 04 unidades habitacionais de 95 m<sup>2</sup> em cada pavimento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Modelos estruturais

O solo simulado foi um solo rochoso com nível d'água alto com topografia plana. Optou-se por utilizar blocos sobre estacas raízes devido a quantidade de pavimentos da estrutura - contendo 12 pavimentos, sendo inviável a adoção de fundações rasas. O cálculo das estacas foi feito com a planilha de Cálculo da Carga admissível do solo por SPT.

Aos modelos analisados foram dadas as seguintes características:

Modelo 01 – laje convencional, com pilares pré-dimensionados para 12 pavimentos, vigas pré-dimensionadas para 10% do vão e lajes convencionais de 10 cm de espessura. Contendo um total de 35 pilares.

Modelo 02 – laje nervurada, com pilares pré-dimensionados para 12 pavimentos, vigas pré-dimensionadas para 10% do vão e lajes nervuradas de 30 cm de espessura (sendo 25 cm de altura, mais 5 cm de capa, com uma base de nervura de 12,5 cm). Contendo um total de 31 pilares. Nesse modelo de laje foram utilizadas formas de polipropileno de alta capacidade pro-

duzidos pela empresa Atex. São cubetas bidirecionais denominadas “família Atex 800” que são facilmente identificadas no catálogo da empresa.

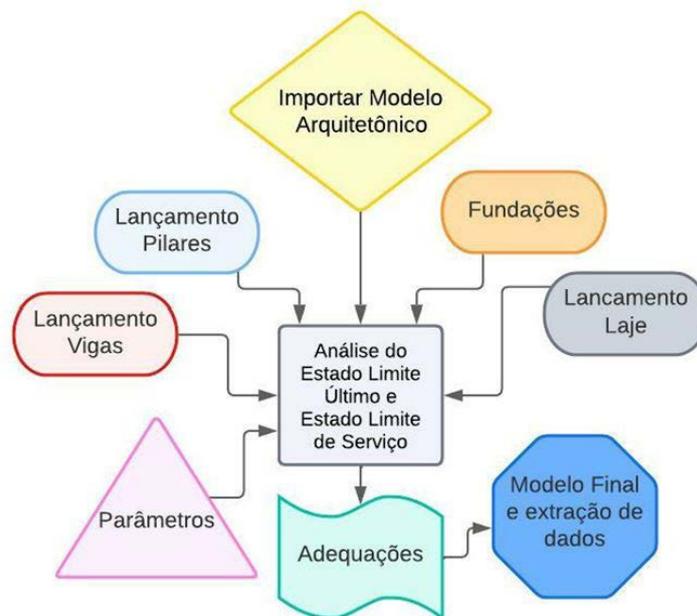
Modelo 03 – utilizando metodologia de lajes planas protendidas, com pilares pré-dimensionados para 12 pavimentos, vigas pré-dimensionadas para 10% do vão e lajes planas protendidas de 20 cm de espessura. Contendo um total de 30 pilares. Este modelo utiliza cordoalhas CP190RB, que são facilmente identificadas nas referências acima ou em catálogos de empresas como Belgo e Evehx.

Modelo 04 – utilizando metodologia de lajes nervuradas protendidas, com pilares pré-dimensionados para 12 pavimentos, vigas pré-dimensionadas para 10% do vão e lajes nervuradas protendidas de 30 cm de espessura (sendo 22,5 cm de altura, mais 7,5 cm de capa, com uma base de nervura de 12,5 cm). Contendo um total inicial de 26 pilares, sendo que 2 deles servem apenas para fazer o apoio da rampa das garagens, morrendo no quinto pavimento, ficando ao final um total de 24 pilares. Nesse modelo de laje foram utilizadas formas de polipropileno de alta capacidade produzidos pela empresa Atex. São cubetas unidirecionais denominadas “família Atex 600U” que são facilmente identificadas no catálogo da empresa. Foram utilizadas cordoalhas CP190RB, que são facilmente identificadas nas referências acima ou em catálogos de empresas como Belgo e Evehx.

## Desenvolvimento das simulações

A simulação no programa Eberick seguiu o fluxograma abaixo para a obtenção dos resultados das quatro lajes:

**Figura 2 - Fluxograma de Desenvolvimento das Simulações no programa Eberick**



Fonte: Autores, 2022

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o dimensionamento dos modelos estruturais, e a realização da análise dos estados limites da estrutura, levando como parâmetro as normas vigentes, avançamos para coleta e es-

tudo das informações obtidas, a fim de chegar em um modelo economicamente viável para ser executado.

Os dados serão separados da seguinte forma: Cargas nas fundações, número de estacas nas fundações, resumo de materiais e valor final da edificação.

## Cargas sobre os pilares e fundações

Para as fundações, adotou-se a utilização de estacas raiz com diâmetro de 410mm e uma capacidade de carga total de 130 tf. Portanto, o modelo de fundação será o mesmo para todas as estruturas, só variando a quantidade de estacas por pilar.

**Quadro 1 – Detalhamento das fundações de cada modelo estrutural:**

Modelo	Número de Pilares	Quantidade de estacas	Carga Total
Modelo 01	35	58 estacas de 410mm	5625,00 Tf
Modelo 02	31	72 estacas de 410mm	7546,00 Tf
Modelo 03	30	68 estacas de 410mm	6233,98 Tf
Modelo 04	26	64 estacas de 410mm	5774,15 Tf

Fonte: Autores, 2022.

## Quantitativo de materiais

Em seguida, foi feito o levantamento do quantitativo de materiais dos modelos propostos, separando-os de acordo com cada elemento estrutural, como: vigas, pilares, lajes, escadas e fundações. Para facilitar a comparação dos modelos, adotamos ao final de cada tabela o consumo de aço por metro cúbico de concreto (total de aço / volume de concreto), dado em Kg/m<sup>3</sup>.

**Quadro 2 – Quantitativo de materiais**

	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total	
Peso total do Aço+10% (kg)	Aço CA-50						
	Modelo 01	28.982,32	15.480,00	22.930,20	1.370,90	6.588,40	<b>75.351,80</b>
	Modelo 02	18.284,00	14.800,00	36.217,60	1.109,60	5.460,40	<b>75.872,40</b>
	Modelo 03	19.069,00	12.058,20	19.155,20	1.663,60	3.538,10	<b>55.484,10</b>
	Modelo 04	27.438,00	12.318,00	6.962,19	1.663,60	4.761,60	<b>53.143,39</b>
	Aço CA-60						
	Modelo 01	5.385,6	6.013,10	10.884,40	108,80	0	<b>22.391,90</b>
	Modelo 02	3.085,40	5.330,70	3.437,50	57,10	0	<b>11.910,70</b>
	Modelo 03	3.156,80	5.112,50	11.483,00	95,50	638,90	<b>20.486,70</b>
	Modelo 04	2.0910,10	4.862,40	14.112,01	95,50	752,50	<b>22.732,51</b>
Concreto							
Volume concreto (m <sup>3</sup> )	Modelo 01	305,40	313,40	1.653,60	15,20	184,80	<b>2.472,40</b>
	Modelo 02	217,10	280,70	1.434,40	8,60	153,80	<b>2.094,60</b>
	Modelo 03	167,14	274,77	1.431,57	15,20	37,19	<b>1.925,87</b>
	Modelo 04	163,36	247,92	1.257,28	15,20	59,27	<b>1.747,03</b>
Área de forma (m <sup>2</sup> )							
Modelo 01	4.237,50	2.904,40	4.133,60	171,90	133,40	<b>11.580,80</b>	
Modelo 02	2.564,50	2.581,30	420,40	97,50	109,60	<b>5.773,30</b>	
Modelo 03	2.658,01	2.583,29	0	172,10	160,07	<b>5.573,47</b>	
Modelo 04	2.599,82	2.255,40	0	172,10	194,14	<b>5.221,46</b>	

Consumo de aço (kg/m <sup>3</sup> )						
Modelo 01	112,50	68,60	20,45	97,30	35,60	<b>39,54</b>
Modelo 02	98,40	71,70	27,65	135,50	35,50	<b>41,91</b>
Modelo 03	132,98	61,76	26,29	115,72	112,32	<b>39,45</b>
Modelo 04	185,77	69,30	16,76	115,73	93,03	<b>43,43</b>

Fonte: Autores, 2022.

Em seguida foi feito o resumo de materiais adicional aos modelos em protensão:

**Quadro 3 – Quantitativo de materiais de protensão.**

Material	Modelo 03	Modelo 04
Cordoalha (Kg)	15.978,85	17.268,22
Pocket Former (Unid.)	1.091	1.440
Ancoragem (Unid.)	2.182	2.880
Cunhas (Par)	2.182	2.880
Adaptador Longo (Unid.)	2.182	2.880
Cap (Unid.)	1.091	1.440

Fonte: Autores, 2022.

## Valor final da edificação

Realizou-se o levantamento de custo unitário de cada material utilizado nos modelos estruturais, de modo a permitir um comparativo mais justo e equivalente, tendo em vista, que o modelo protendido necessita de outros materiais, como: cordoalha, pocket former, cunha, bloco de ancoragem, cap e adaptador longo.

Os valores propostos para os modelos em concreto armado, são referentes a orçamentos feitos em lojas de materiais de construção e empresas na região de Itaperuna RJ em outubro de 2022.

**Quadro 4 – Custo Unitário dos materiais estruturais:**

<b>Material</b>	Aço CA-50	Aço CA-60 (Kg)	Forma (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Cordoalha (Kg)
<b>Preço(R\$)</b>	7,45	9,42	60,00	335,00	15,71
<b>Material</b>	Cap (Unid.)	Pocket Former (Unid.)	Ancoragem (Unid.)	Cunhas (Par)	Adaptador Longo Unid.)
<b>Preço(R\$)</b>	0,45	0,96	8,00	6,00	0,45

Fonte: Autores, 2022

## Custo estimado final de cada modelo estrutural

Na tabela abaixo são discriminados os valores totais dos materiais principais de cada um dos modelos estruturais:

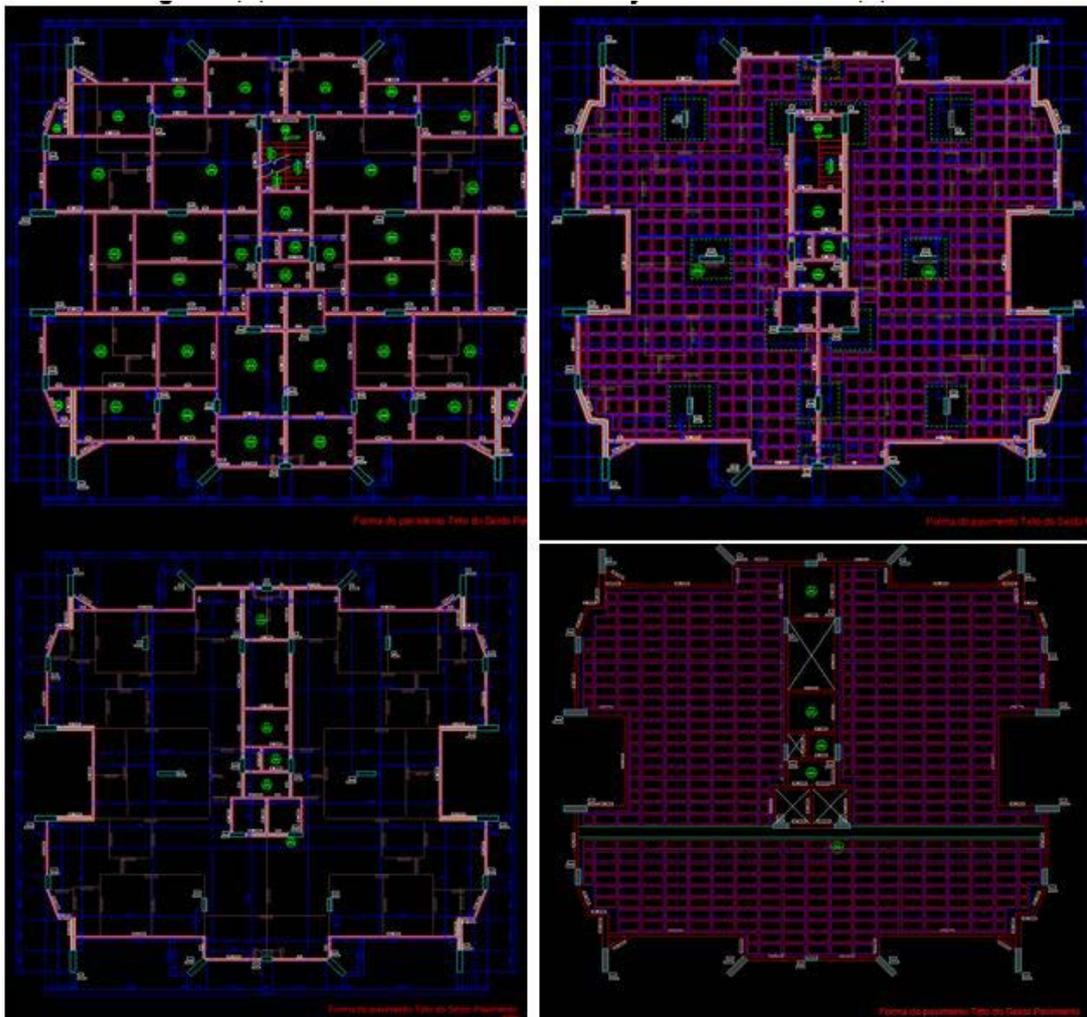
**Quadro 5 – Estimativa de preço dos modelos estruturais:**

Material	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 04
Aço CA50	561.370,91	565.249,38	413.356,55	395.918,26
Aço CA60	210.931,70	112.198,80	192.984,72	214.140,25
Forma	694.848,00	346.398,00	334.408,20	313.287,60
Concreto	828.254,00	701.691,00	645.166,45	585.255,05
Cordoalha	n/d	n/d	251.027,74	271.283,74
Pocket Former	n/d	n/d	1.047,36	1.382,40
Ancoragem	n/d	n/d	17.456,00	23.040,00
Cunhas	n/d	n/d	13.092,00	17.280,00
Adaptador Longo	n/d	n/d	981,90	1.296,00
Cap	n/d	n/d	490,95	648,00
Total(R\$)	2.295.404,61	1.725.537,18	1.870.011,87	1.823.531,30

Fonte: Autores, 2022

## Comparação dos resultados obtidos

**Figura 3,4,5 e 6 - Plantas de forma das lajes dos Modelos 1,2,3 e 4:**



Fonte: Autores, 2022.

O modelo 01, sistema de construção de laje maciça em concreto armado, apresentou o melhor desempenho no peso e número de estacas, porém utiliza o maior volume de concreto,

maior quantidade forma e maior quantidade de aço. Ainda deve ser levado em consideração o tempo de armação, o tempo de cura da laje. Apresentou também o maior valor total e foram necessários 35 pilares.

Já o modelo 2, estrutura de laje nervurada em concreto armado, apresentou a maior carga e conseqüentemente o maior número de estacas. Sua estrutura se apresentou a mais econômica dos modelos e o dimensionamento resultou em 31 pilares.

Entretanto o modelo 3, laje plana protendida, já utiliza uma quantidade menor de concreto em relação aos modelos já analisados em concreto armado, e deve ser levado em conta uma redução de pilar e a agilidade de execução das lajes em protensão.

Contudo o modelo 4, laje nervurada protendida, apresentou o menor volume de concreto, menor área de forma e menor consumo de Kg de aço. Sendo o modelo mais eficaz na maior parte dos quesitos, foi possível dimensionar a estrutura com apenas 24 pilares, sendo 11 pilares a menos que o modelo 01, 07 pilares a menos que o modelo 02 e 06 pilares a menos que o modelo 03.

**Quadro 6 – Comparação dos resultados obtidos.**

Modelo de Dimensionamento	Cargas nas fundações (tf)	Nº de Estacas (uni)	Volume Concreto (m <sup>3</sup> )	Área de Forma (m <sup>2</sup> )	Peso de Aço (kg)	Valor final (R\$)
Modelo 01	5.625,00	58	2.472,40	11.580,80	97.743,70	2.295.404,61
Modelo 02	7.546,00	72	2.094,60	5.773,30	87.783,10	1.725.537,18
Modelo 03	6.233,98	68	1.925,87	5.573,47	75.970,80	1.870.011,87
Modelo 04	5.774,15	64	1.747,03	5.221,46	75.875,90	1.823.531,30

Fonte: Autores, 2022.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas quatro simulações elaboradas podem-se observar as diferenças entre os sistemas de lajes e seus detalhes, outras questões técnicas devem ser levadas em consideração na escolha do tipo de estrutura e não somente o custo do material. O tempo de execução, a mão de obra empregada, a disponibilidade de recursos e materiais necessários no local da obra devem ser observados a fim de empregar a melhor solução para cada caso.

A escolha da alternativa estrutural a ser adotada depende de muitas variáveis, havendo uma necessidade criteriosa, por isso, é necessária sintonia entre contratante e os profissionais responsáveis, de modo a optar pela opção mais vantajosa para uma determinada realidade, tendo como alicerce o Custo de Oportunidade.

Baseado nos dados apresentados a conclusão dos autores é que neste empreendimento o melhor custo-benefício se demonstrou no Modelo 04 – Estrutura em Laje Nervurada Protendida, com maior eficácia dentre todos os modelos analisados, maior agilidade para armação, menor quantidade de volume de concreto, menor área de forma e modelo estrutural com menor consumo de Kg de aço. Sendo o modelo mais eficaz na maior parte dos quesitos, não tendo pontos negativos e mantendo diversos benefícios que o concreto protendido possui. Ao se dimensionar apenas 24 pilares se cria uma liberdade arquitetônica e menos pontos de interferências em sua estrutura.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 8953 - Concreto para fins estruturais. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.
- ADORNA, D. D. L. Concreto armado: vigas e lajes. Porto Alegre: SAGAH, 2021. ISBN 978-65-5690-193-0.
- BASTOS, P. S. Estruturas de Concreto II: Vigas de concreto armado. Bauru, SP: Universidade Estadual Paulista, 2017.
- BASTOS, P. S. Estruturas de Concreto I: Fundamentos de concreto armado. Bauru, SP: Universidade Estadual Paulista, 2019.
- BASTOS, P. S. Estruturas de Concreto I: Lajes de concreto armado. Bauru, SP: Universidade Estadual Paulista, 2021.
- CARVALHO, R. C. Estrutura em Concreto Protendido: Calculo e Detalhamento. Sao Paulo: Pini, 2012. ISBN 978-85-7266-256-7.
- CBIC. Indicadores Imobiliários Nacionais 3T2021. Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2021. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/11/indppt3t2021v5.pdf>>.
- EMERICK, A. A. PROJETO E EXECUÇÃO DE LAJES PROTENDIDAS. Brasília: [s.n.], 2002. Disponível em: <[http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812\\_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/LP.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/LP.pdf)>.
- GOMES, M. T. S. As mudanças no mercado de trabalho e o desemprego em Presidente Prudente/SP - Brasil. Universidad de Barcelona: Scripta Nova, v. vol. VI, nº 119 (32), 2002. ISBN ISSN: 1138-9788. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn119-32.htm>>.
- PEREIRA, A. R. ANÁLISE DO USO DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Fortaleza: Revista Científica Semana Acadêmica, 2019. ISBN ISSN 2236-671. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/analise-do-uso-das-novas-tecnologias-na-construcao-civil>>.
- PILOTTO NETO, E. Caderno de receitas de concreto armado. Rio de Janeiro: LTC, v. volume 3: lajes, 2018.
- PINHEIRO, L. M. Fundamentos de Concreto e Projeto de Edifícios. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo, 2007.
- TÉCNICAS, A. -A. B. D. N. NBR 7197 - Projeto de estruturas de concreto protendido. Rio de Janeiro: [s.n.], 1989.
- TÉCNICAS, A. -A. B. D. N. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- TÉCNICAS, A. -A. B. D. N. NBR 14859-2 - Laje pré-fabricadas de concreto - Requisitos - Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.



# **Análise experimental de vigas compostas de madeira laminada pregada e laminada colada**

---

Nícolas Raniéri Grasseli

*Acadêmico do curso de Engenharia Civil*

Carlos William de Almeida Rezende

*Orientador e Professor Mestre do curso de Engenharia Civil.*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.9

## RESUMO

O presente trabalho trata-se da comparação de vigas laminadas coladas e pregadas em relação a uma viga em madeira, todas com a mesma seção transversal e momento de inercia. Foram analisadas em laboratório as características da madeira, todos os ensaios foram baseados na norma 7190/97. Dentre a diversidade de ligações e de madeira existentes foi selecionada para o estudo a ligação por meio de adesivo e pinos metálicos com a madeira pinus-eliote, pela simplicidade de como é executada, pelo custo da madeira na região Sul do Brasil, e pela sua presença significativa na construção civil na região oeste do Paraná. A ligação é feita somente com o adesivo cola branca (pvc) e com o uso de pinos para realizar a união das laminas de madeira. As ligações nas estruturas de madeira são o ponto mais crítico devido à concentração de tensões que são ali descarregadas e transferidas, algumas ligações geralmente se encontram em regiões mais suscetíveis à troca de umidade com o ambiente, por estarem nas extremidades das estruturas, a umidade juntamente com as altas tensões, são os principais fatores dos deslocamentos e/ou rupturas que podem trazer uma estrutura ao colapso. Este trabalho visa melhorar as condições da implantação da madeira como elemento estrutural, na forma de composição de vigas laminadas coladas e pregadas, aonde as vigas compostas apresentaram uma minoração de deslocamento, na qual o objetivo era atender as condições de deslocamento e resistência mecânica.

**Palavras-chave:** ligações. análise experimental. anisotropia.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor de estruturas de madeira não proliferou como em outros países da Europa. Entretanto, nos últimos anos, avanços significativos estão ocorrendo, resultado do crescente volume e boa qualidade dos trabalhos científicos realizados pelas universidades brasileiras. Nesses centros de pesquisas são desenvolvidas novas tecnologias que permitem a utilização racional da madeira, tanto nativa quanto de reflorestamento, tornando esse nobre material uma ótima solução para o emprego em estruturas, sejam elas de pequeno ou grande porte (GÓES, 2002).

Para melhor utilização da madeira como material estrutural, é o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, entre outras, que permitam utilizar esse material de maneira racional, empregando-as de maneira correta nas edificações. Ultimamente as pesquisas a fim de elucidar as propriedades da madeira estão aumentando, porém, ainda há muito a se descobrir, principalmente em relação às novas espécies que estão sendo reflorestadas no Brasil, tornando indispensável o conhecimento aprofundado de suas propriedades (ALMEIDA *et al.*, 2011).

O emprego das peças compostas de madeira, formadas pela união de peças de menores dimensões, tem importância no setor de estruturas de madeira do país, principalmente por possibilitar a obtenção de maiores seções transversais a partir de peças com dimensões comerciais (GÓES, 2002).

## MADEIRA LAMINADA COLADA

A madeira laminada colada (MLC) se trata de produto obtido através da união de peças

da madeira (lâminas) que exige exatidão na fabricação durante todos os estágios. As lâminas formam um componente estrutural e ficam dispostas de forma que as fibras permaneçam paralelas entre si (BODIG; JAYNE, 1993).

No Brasil, o uso da madeira laminada colada ainda é pouco divulgado sendo que a maioria das pesquisas sobre ela envolvem questões técnicas relacionadas a processos de dimensionamento e análise, ao uso preferencial de madeira de reflorestamento, ligações de emendas, disposições construtivas e reforços com materiais compósitos e adesivos além de estudos experimentais sobre vigas retas (PETRAUSKI, 2012).

De acordo com Petruski (2012), a MLC é utilizada para construções de estruturas com arcos, em vigas retas ou curvas, além de pilares e outros elementos estruturais, com várias finalidades do espaço projetado, sendo passarelas, pontes, quadras de patinação, igrejas e ainda algumas estruturas que possuem mais de 100 metros de vão livre.

## Madeira laminada pregada

A madeira laminada pregada (MLP) é fabricada através da sobreposição de lâminas de tábuas com a utilização de pregos como elementos de ligação para unir as peças de madeira. O emprego dessas peças vem alcançando destaque no setor de estruturas de madeira do Brasil devido, principalmente à gradativa escassez de peças de grandes dimensões. As peças compostas de madeira serrada solidarizadas continuamente por pregos tem uma ampla aplicação como material estrutural e como principais vantagens o baixo custo de produção e a facilidade para execução. (RECCO, PLETZ e MOURA, 2014).

Duarte (2004) afirma que o estudo sobre o comportamento dessas ligações é de grande valor porque permite identificar problemas e apontar soluções e com isso melhorar a capacidade de carga, ductilidade e sua rigidez. Com o resultado dos estudos, obtém-se uma evolução e também proporciona a criação de novos elementos de ligações ou arranjos

A ruptura das ligações mecânicas entre as peças de madeira utilizando pinos e solicitadas a carregamentos uniformes, segundo Recco, Pletz e Moura (2014), se dá através de um processo descrito em quatro fases, sendo elas: o deslocamento sem transferência de carga devido aos erros de fabricação, a fase elástica, com comportamento elástico linear da madeira e do pino, a fase plástica, com deslocamentos irreversíveis devido ao escoamento do pino ou fissuras na madeira, e a ruptura completa da ligação. Com base nesta identificação podem ocorrer mudanças nas ligações com o objetivo de corrigir estas falhas.

Por ser um material frágil na tração, a madeira e suas ligações tendem a apresentar este mesmo comportamento se a ruptura acontecer na madeira. De acordo com HALLER (1998), a única forma de aumentar a ductilidade das ligações em estruturas de madeira consiste na utilização de elementos de ligação mecânica que permitam a formação de rótulas plásticas antes da ruptura.

Para sugerir um sistema alternativo construtivo em madeira é importante considerar um método de dimensionamento eficiente. Sendo assim, podem ser mencionadas as recomendações da norma NBR 7190-97, que se baseia no método dos estados limites. A norma prevê estados limites, últimos relacionados à resistência dos materiais, além da restrição de deslocamentos, o que previne o comprometimento estético e o mau funcionamento de equipamentos e

instalações, evitando problemas nos materiais de acabamento ou às partes não estruturais da construção (CALIL JR ROCCO LAHR e DIAS, 2003).

## Ligações em estruturas de madeira

Segundo Correia (2009) a madeira se origina do tecido vegetal, suas particularidades são determinadas pela fisiologia da árvore. Geralmente para construções apenas o caule é aproveitado, sendo este dividido em cerne (possui maior resistência e compacidade), geralmente com boa resistência à decomposição e a casca parte com pouca resistência à decomposição.

A madeira é um material heterogêneo e eventualmente ortotrópico. É um material complexo, é indispensável o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas para o correto dimensionamento e uso como material estrutural (CORREIA, 2009).

As células da madeira são conhecidas como direção das fibras, chamada de direção forte, geralmente paralela ao eixo longitudinal do caule. Próximo aos galhos, as fibras são redirecionadas, formando juntas “estruturais” entre elas e são conhecidos como “nós”. Portanto, a madeira é classificada como um material anisotrópico, sendo suas propriedades mecânicas influenciadas pela disposição das suas fibras (RIBEIRO, 2020).

O desempenho estrutural das várias espécies de madeira, está relacionado com a direção das fibras, que dependendo do desdobramento do tronco, resulta em diferentes graus de anisotropia. Geralmente, as madeiras reconstituídas têm propriedades isotrópicas que garantem um ótimo desempenho estrutural. Em vista disso, o uso desse material em estruturas requer conhecimento da estrutura interna das diferentes espécies de madeira para conduzir as técnicas de verificação e dimensionamento das ligações e demais regiões críticas das estruturas, assegurando segurança e durabilidade nas estruturas de madeira (CORREIA, 2009).

As ligações pregadas utilizam os pregos como conector. Essas ligações são feitas através de peças metálicas cravadas na madeira por meio de impacto. Para que sejam realizadas as ligações pregadas é imprescindível realizar a pré-furação da madeira. Ligações sem pré-furação só podem ser feitas em estruturas provisórias (FREITAS, 2017).

## Cisalhamento

Segundo Calil Jr., Rocco Lahr e Dias (2003), a resistência ao cisalhamento da madeira é diretamente influenciada de acordo com a direção do plano de atuação das tensões cisalhantes, se tornando menor na direção longitudinal.

A resistência ao cisalhamento é definida a partir do seu valor longitudinal, paralelo às fibras, mesmo nos casos em que a solicitação se dá na direção perpendicular, um exemplo é o caso de vigas submetidas à flexão. (PFEIL e PFEIL, 2003).

O cisalhamento é uma solicitação encontrada nas vigas que sofrem flexão, principalmente nos apoios, nas cargas pontuais e em entalhes. Essa solicitação pode se tornar determinante para o dimensionamento de vigas curtas consideravelmente carregadas ou que possuem mudanças na seção transversal (CARNEIRO, 2017).

No caso dos ensaios de cisalhamento Lang (1997) pontua alguns problemas: o estado de cisalhamento puro nunca é atingido, pois além das tensões cisalhantes aparecerão tensões

normais e ortogonais no plano; a distribuição de tensões no plano de cisalhamento não é uniforme; quando o plano de cisalhamento se desvia da direção das fibras, existe uma grande tendência de ruptura à compressão.

Segundo Borges (2013), a avaliação mecânica da madeira é observada verificada em duas principais direções, sendo distribuídas no sentido paralelo (axial) e perpendicular (normal) às fibras, no qual são analisadas as resistências de acordo com a tração, compressão, fendilhamento, flexão e cisalhamento. A dureza, resistência a fadiga e resistência a cargas de longa duração (fluência) também se enquadram como propriedades mecânicas da madeira.

Júnior (2006) afirma que a resistência à compressão axial é menor quando comparada à tração, de modo que a solicitação de compressão nesse sentido também ocasiona a separação das fibras longitudinais ou flambagem. Já a resistência à compressão perpendicular às fibras se refere ao esmagamento, que se estende como sendo a massa volumétrica do material.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para um dimensionamento mais preciso é necessário obter as propriedades da madeira como umidade, resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade paralelo às fibras, módulo de elasticidade na flexão, as propriedades são obtidas através de ensaios em laboratório. Todos os ensaios e equações nesta seção seguem a NBR 7190/1997.

**Tabela 01 – Relação de vigas a serem analisadas.**

Viga	Largura (cm)	Altura (cm)	Seção Transversal (cm <sup>2</sup> )	Ligação	Composição da Ligação
01	5	10	50	Química	Cola PVC branca
02	5	10	50	Mecânica	Prego 19x39
03	5	10	50	Mecânica e Química	Cola PVC Branca e Prego 19x39
04	5	10	50	Elemento Rígido	Elemento Rígido sem ligação

Fonte: O autor (2022).

Será executada uma viga laminada colada em madeira (Figura 01), com seção transversal de 5 cm de largura por 10 cm de altura, será confeccionada com ripas de dimensão 5 cm de base e 2,5 cm de altura, a respectiva viga terá as peças sobreposta 4 ripas formando a viga com a mesma dimensão do caibro em análise e o comprimento longitudinal dessa estrutura será de 115 cm. Após a sobreposição das peças atingindo o seu comprimento longitudinal, será realizado a colagem dessa madeira. O adesivo de ligação será a cola PVC (Branca), aonde a aplicação será dada a cada lâmina da madeira, respeitando o tempo de secagem delimitado no material, após a aplicação do adesivo haverá a sobreposição das seguintes ripas juntamente com uma prensa para realizar a colagem química de maneira eficaz e formar a seção transversal de 50 cm<sup>2</sup>.

**Figura 1- Viga laminada colada.**



**FONTE: Arquivo pessoal (2022).**

A peça estrutural de madeira laminada pregada (Figura 02) consistirá na sobreposição de lâminas de madeira com a seção transversal de  $50 \text{ cm}^2$ , onde a sua respectiva base será  $5 \text{ cm}$  e a sua altura corresponderá a  $10 \text{ cm}$ . A solidificação por pregos será na face inferior e superior da viga, com o espaçamento de  $10 \text{ cm}$  de cada prego, serão intercalados a relação de pregos, aonde o furo da face superior não coincide com o ponto de furo da face inferior, vale ressaltar que haverá pré-furação seguindo a NBR 7190/97 em cada elemento de ligação no valor estimado pela NBR 7190/97, que é equivalente a  $0,85$  do diâmetro efetivo. O prego utilizado para confecção da viga será o  $19 \times 39$  galvanizado com resistência de  $600 \text{ MPA}$ .

**Figura 2 - Viga laminada pregada.**



**Fonte: Arquivo pessoal (2022).**

A peça de madeira laminada colada e pregada (Figura 03) será constituída por laminas de ripas serradas com espessura de  $2,5 \text{ cm}$ , aonde serão sobrepostas 4 lâminas para formar a altura de  $10 \text{ cm}$  e a largura de  $5 \text{ cm}$ . A respectiva viga corresponderá a solidificação por pregos com pré-furação estabelecido na NBR7190/97 e também com o adesivo químico, cola PVC, aonde o seu espaçamento entre pregos será o mesmo em relação à viga laminada pregada, e com

a mesma taxa de aço comparando com a MLP.

**Figura 3 - Viga laminada pregada e colada.**



Fonte: Arquivo pessoal (2022).

Para realizar o comparativo das três respectivas estruturas citadas anteriormente, será ensaiado um caibro rígido de 5 cm de largura e 10 cm de altura da mesma espécie da madeira que será moldado as vigas compostas, conseqüentemente corresponde à seção transversal de 50 cm<sup>2</sup>.

## Métodos

As propriedades da madeira como umidade, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à flexão, rigidez na compressão paralela às fibras, rigidez na flexão foram obtidas através de ensaios segundo a NBR 7190/1997.

**Tabela 2 – Ensaios das propriedades mecânicas.**

Ensaio	Referência	Parâmetro
Umidade	Anexo B 7190/97	Umidade natural
Densidade	Anexo B 7190/97	Densidade do Material
Resistencia a compressão paralela as fibras	Anexo B 7190/97	Resistência e a rigidez à compressão paralela às fibras
Resistencia a compressão normal as fibras	Anexo B7190/97	Resistencia a compressão normal as fibras
Resistencia a flexão	Anexo B 7190/97	Resistência e a rigidez da madeira à flexão

**FONTE: Autor (2022).**

A avaliação de análise mecânica das vigas serão realizadas através da solicitação dos esforços de momento fletor e esforço de cisalhamento conforme a NBR 7190/97.

A análise de flexão em vigas compostas em madeira, foi realizada através de um carregamento pontual no meio do seu vão, que será de 1 metro livre, na qual a carga está relacionada a carga de ruptura desta viga, a análise deste comportamento está diretamente ligada aos esfor-

ços de flexão que ocorrem na viga, serão adquiridos os respectivos valores dos esforços e será dimensionado através da NBR 7190/97, sem os coeficientes de majoração de carga e minoração de resistência.

**Figura 4 - Método de avaliação das vigas.**



**Fonte: Arquivo pessoal (2022).**

No ensaio para determinação da resistência à flexão, o carregamento será de forma crescente, com uma taxa de 100kgf/min e conseqüentemente será analisado o deslocamento no meio do vão do corpo de prova.

Os relógios comparadores serão instalados no meio do vão da viga, para realizar a medição do deslocamento.

Após obter o ensaio para determinar a máxima carga que a viga resistira, será avaliado pela equação dada pela NBR 7190/97, dada por:

$$\text{Onde: } \tau_{cd} = \frac{6Md}{bh^2}$$

$\tau_{cd}$  É resistência a flexão da viga

$Md$  Máximo momento aplicado a estrutura.

$b$  A base da seção transversal da viga

$h$  Altura útil da viga a ser analisada.

A viga sujeita os esforço de cisalhamento estará submetida a um carregamento pontual no meio do seu vão, na qual a carga está relacionada a carga de ruptura desta viga, a análise deste comportamento está diretamente ligada aos esforços de cisalhamento, por se tratar de uma viga bi apoiada com uma carga concentrada no meio do seu vão, o esforço cortante é equivalente a  $P/2$ , que é respectivo a carga de ruptura dividido por 2, a viga será dimensionada sem os coeficientes de majoração de carga e minoração de resistência.

A resistência ao cisalhamento da viga será seguindo a NBR 7190/97, sendo ela determinada pela equação dada por:

$$C_{wd} = \frac{3Vd}{2bh}$$

Onde,

$C_{wd}$  É a resistência ao cisalhamento

$V_d$  É o esforço cortante

$b$  São base da seção transversal da viga

$h$  Altura útil da seção transversal da viga.

## ANÁLISE DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

**Tabela 3 – Propriedades mecânicas.**

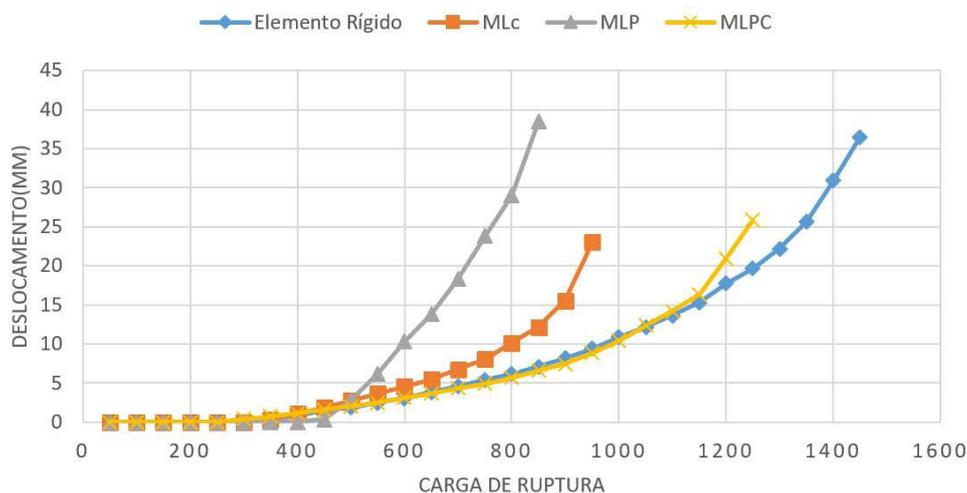
Propriedade Mecânica	Unidade	Resultado
Umidade	%	8.41
Densidade	Kgf/m <sup>3</sup>	515.70
Resistência a compressão paralela as fibras	MPA	29.36
Resistência a compressão normal as fibras	MPA	5.94
Resistência a flexão	KGF	1763
Modulo de Elasticidade (Ec0)	MPA	8648.63

Fonte: Autor (2022).

A análise de vigas de madeira laminada colada e laminada pregada unidas por pregos e cola pvc (branca) diante dos estudos realizados indicou que os parâmetros dos resultados teóricos e experimentais são os seguintes:

**Gráfico 1 – Comparação de deslocamentos.**

### COMPARAÇÃO DE DESLOCAMENTOS



Fonte: Autor (2022).

Observa-se que o elemento rígido resistiu a uma carga superior as demais vigas, mas as vigas compostas em madeira laminada pregada e a laminada pregada e colada, obtiveram um deslocamento inicial menor do que o elemento rígido, vale ressaltar que todas as vigas compostas, as rupturas ocorreram na madeira e em nenhum momento na ligação, isso significa que se melhorar a propriedade física da madeira e laminar dessa forma podemos obter resultados satisfatórios comparados com o elemento natural.

As ligações podem ser determinadas pelo cisalhamento e a resistência da ligação foi bastante satisfatória quando dimensionadas de acordo com as recomendações da NBR7190. Nos experimentos constatou-se que os pinos metálicos e o adesivo têm grande contribuição na rigidez global.

**Tabela 4 – Esforços e resistência mecânica.**

Elemento	Carga de Ruptura (Kgf)	Momento Fle-tor(Kgf.cm)	Cisalhamento	Resistencia Momento Fle-tor (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Cisalhamento (Kgf/cm <sup>2</sup> )
MLC	963	24075	481.5	288.9	14.44
MLP	874	21850	437	262.2	13.11
MLCP	1273	31825	636.5	381.9	19.09
Elemento Rígido	1450	36250	725	435	21.75

**FONTE: Autor (2022).**

As divergências de resultados relacionados as vigas compostas podem se explicar por suas propriedades físicas, podendo ser de lote distintos e apresentar outros fatores que levam a perda de resistência, como por exemplo, apresentar uma quantidade de umidade superior aos 12%, na qual, não se encaixa nos critérios de dimensionamento da NBR 7190/97.

Observa-se na tabela 04 que a preocupação em dimensionar em madeira trata-se do esforço a flexão, na qual está relacionado ao deslocamento que ocorre em cada estrutura, o esforço de cisalhamento está diretamente ligado as ligações em estruturas que nesse caso houve um bom comportamento, ao esforço de cisalhamento a própria resistência da madeira é capaz de verificar as condições da estrutura.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões visando uma contribuição para melhorar o entendimento do comportamento da madeira como elemento estrutural e também verificar estruturas já existentes.

Este trabalho contou com análise global de vigas laminadas pregadas e laminadas coladas, afim de melhorar o comportamento estrutural da madeira como elemento estrutural. Foram realizados ensaios baseados na NBR7190/97, para verificar o comportamento dos deslocamentos e resistência mecânica.

A madeira é um recurso natural, com propriedades muito inconsistentes, a anisotropia da madeira faz com que o material mude suas características ponto a ponto, a mudança de sentido das fibras pode alterar os resultados.

A pesquisa buscou mostrar que as vigas laminadas podem melhorar algumas propriedades das estruturas de madeira, como redução da flecha e maior rigidez global da estrutura. A composição de vigas apresentou resultados interessantes de deslocamentos, aumentando a rigidez da peça. Apesar de suas delimitações, em partes podendo ser usado com confiança as ligações, prevendo as respostas em pontos de concentrações e transferência de cargas nas estruturas de madeira, podendo dispensar ensaios laboratoriais em ligações similares e servindo como base, nessa linha de pesquisa, para futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira: referências – elaboração. Rio de Janeiro, 1997.
- ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. M.; MACEDO, L. B.; MACÊDO, A. N.; JUNIOR, C. C., Madeira laminada colada (MLC) da espécie Paricá. Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia. v.12, n. 30, São Paulo, 2011.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. Mechanics of wood and wood composites New York: V. N. Reinhold, 1993.
- BORGES, P. Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de carvalho e de castanho do Nordeste Transmontano. Dissertação (Mestrado) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão. 111p. Bragança, 2013.
- CALIL JR., C.; ROCCO LAHR, F. A.; DIAS, A. A. Dimensionamento de elementos estruturais de madeira. 1 ed. Barueri: Editora Manole Ltda, 152 p., 2003.
- CARNEIRO, A. F. B. Estudo experimental físico da influência de entalhes na resistência ao cisalhamento de vigas de madeira. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Construção Civil. Curitiba, Paraná, 2017.
- CARRASCO, E.V.M. Ligações Estruturais de Madeira por Adesivos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 436p. 1984.
- CORREIA, E. A. S. Análise e Dimensionamento de estruturas de Madeira. 2009. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Especialização em Estruturas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.
- DUARTE, R. S. Avaliação do Comportamento de Ligações com Parafusos AutoAtarraxantes em Vigas de MLC C. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 248p, 2004.
- FERRO, F. S.; ICIMOTO, F. H.; ALMEIDA, D. H., CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F. A. R. Influência da Posição dos Instrumentos de Medida na Determinação do Módulo de Elasticidade da Madeira na Compressão Paralela às Fibras (Ec0)1. v.39, n.4, p.743-749. Revista Árvore, Viçosa-MG, 2015.
- FOLIENSTE, G. C.; LEICESTER, R. H. Evaluation of mechanical joint systems in timber structures. Proceedings of the 25th Forest Products Research Conference, Clayton, Victoria, Australia, 1996.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook: wood as an engineering material. General Technical Report (FPL-GTR-113). 1999, 463 p. Madison. Available from: < [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl\\_gtr190.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf) >. Acesso em: 26 de maio de 2022.
- FREITAS, T. O. G. Avaliação Experimental da Rigidez de Ligações Pregadas e Parafusadas em Madeira. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Construção Civil. Campo Mourão, Paraná, 2017.
- GÓES, J. L. N. Analysis of nailed timber built-up I beams. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 123p, 2002.
- HALLER, P. Progress in timber joint development and modeling. Proceedings of the 5th World

Conference on Timber Engineering. vol. 1, p. 337-344. Montreux, Switzerland, 1998.

JÚNIOR, J. A. B. Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto. 208p. Portugal, 2006.

LANG, E. M. An alternative method for shear strength assessment. Forest Products Journal. v. 47, n. 11/12, Madison, Wis., 1997.

PFEIL, W. E.; PFEIL, M. Estruturas de madeira 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e europeia EURODODE 5. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

PETRAUSKI, S. M. F. C. Desenvolvimento de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos a base de resorcinol e óleo de mamona. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2012.

RECCO, E. G.; PLETZ, E.; MOURA, J. D. M. Análise experimental de emendas tracionadas de barras de madeira laminada pregada de pinus spp. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 15ªed. Maceió, Alagoas, 2014.

RIBEIRO, G. G. Análise numérica em ligação com peças de madeira serrada. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade Educacional de Medianeira. Medianeira, Paraná, 2020.



# **Avaliação das propriedades mecânicas de composições asfálticas à quente produzidas com grafite comercial**

---

Alex Gomes Pereira  
Gessica Stefany Alves Setúbal  
Lucas Henrique Furtado Bonfim Gerhardt  
Luis Filipe da Silva Quelhas  
Jacson do Nascimento Paiva  
Sara Braselino de Melo  
Marco Antônio Silveira de Medeiros Junior  
Luis Henrique Ferreira e Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.10

## RESUMO

Atualmente, há vários estudos que objetivam identificar nos materiais que influenciam no comportamento mecânico de misturas asfálticas. No presente trabalho, é realizada um estudo do emprego de grafite como material de enchimento em concretos asfálticos. O programa experimental consistiu no ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RTCD). Após a realização do ensaio mecânico, verificou-se que a mistura asfáltica alternativa apresentou resultados satisfatórios. A utilização de grafite como fíler mostrou-se efetiva, sendo possível observar grandes aumentos na resistência mecânica. Assim, o concreto asfáltico produzido com grafite torna-se uma alternativa promissora como material aplicável em pavimentos rodoviários, atuando como substituto do fíler tradicional (cimento Portland), tornando-se, assim, uma aplicação sustentável do resíduo em questão.

**Palavras-chave:** grafite. misturas asfálticas. pavimentação.

## ABSTRACT

Currently, there are several studies that aim to identify the materials that influence the mechanical behavior of asphalt mixtures. In the present work, a study is carried out on the use of graphite as a filling material in asphalt concrete. The experimental program consisted of the tensile strength test by diametral compression (RTCD). After performing the mechanical test, it was found that the alternative asphalt mixture presented satisfactory results. The use of graphite as a filler proved to be effective, and it was possible to observe large increases in mechanical strength. Thus, asphalt concrete produced with graphite becomes a promising alternative as a material applicable to road pavements, acting as a substitute for the traditional filler (Portland cement), thus becoming a sustainable application of the waste in question.

**Keywords:** graphite. asphalt mixes. paving.

## INTRODUÇÃO

O Brasil possui como característica principal a sua grande extensão, somando mais de 213 milhões de habitantes distribuídos irregularmente sobre cerca de aproximadamente 8,5 milhões de quilômetros quadrados de extensão territorial (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2021), possuindo uma malha rodoviária pavimentada (213.453 quilômetros) relativamente pequena no que tange à extensão total da malha rodoviária nacional (1.720.909,0 quilômetros), às vezes em mau estado de conservação, indisponibilidade de outros modais e uma rede fluvial de baixo aproveitamento (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT, 2021). Além disso, 52,2% (56.970 quilômetros) da extensão exibe algum tipo de anomalia em seu estado geral.

Segundo o estudo da CNT (2021) os fatores que têm colaborado para o processo de degradação precoce do pavimento é o não atendimento às imposições técnicas tanto da capacidade de suporte das camadas do pavimento quanto da qualidade dos materiais empregados no revestimento asfáltico, o aumento do fluxo de veículos, aspectos ambientais, frequência e

práticas de manutenção periódica.

Silva & Farias (2020) afirma que a degradação observada nos pavimentos brasileiros é causada, principalmente, pelo excesso de carga por eixo dos veículos transportadores e pela falta de manutenção das rodovias, associada às intempéries. Estes mecanismos resultam no rompimento da camada de revestimento asfáltico acarretando assim grande desconforto e prejuízo para os usuários.

Dessa forma, tornam-se relevantes os estudos de novos materiais a serem utilizados em concretos asfálticos, a fim de favorecer a implementação de políticas de manutenção, recuperação e projetos de pavimentos mais econômicos pela sua maior adequabilidade técnica a longo prazo, e, em especial, minimizar a exploração dos materiais não renováveis normalmente usados nessas estruturas.

Nesse contexto, avaliar-se-á neste trabalho, misturas asfálticas produzidas com grafite comercial. Espera-se que os resultados mostrem um comportamento mecânico satisfatório das misturas betuminosas com grafite comercial, a fim de verificar a adequabilidade de seu emprego no setor pavimento.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Pavimentos

Segundo Senço (2007), o pavimento é uma estrutura formada por diferentes camadas de espessuras finitas assentes sobre o subleito que desempenha a função de fundação da estrutura. Para Balbo (2007):

O pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios.

Senço (2007), explica que estrutura do pavimento é como finalidade resistir aos esforços verticais resultantes do tráfego e distribuí-los de forma atenuada ao subleito; melhorar as condições de rolamento em relação ao conforto e segurança dos veículos; e resistir aos esforços horizontais, tornando a superfície do pavimento mais durável e resistente.

Bernucci *et al.* (2008) explicam que os pavimentos são classificados em dois tipos: rígidos e flexíveis. Os pavimentos flexíveis são formados por um revestimento asfáltico e sofrem deformação elástica relevante quando submetidas ao carregamento, sendo as cargas distribuídas em parcelas aproximadamente iguais entre as camadas. Já o pavimento rígido é formado por um revestimento com alta rigidez em relação às camadas subjacentes, normalmente o revestimento é constituída de placas de concreto de cimento Portland sob camadas granulares, em função da alta rigidez do revestimento de concreto, as tensões são praticamente todas absorvidas pelo revestimento.

### Materiais alternativos utilizados no pavimento asfáltico

Diante do atual cenário em que a escassez de recursos naturais e alta demanda de

infraestrutura urbana e rodoviária no país, também surgindo diferentes estudos de concretos asfálticos produzidos com materiais alternativos.

Kato & Souza (2017) estudaram o desempenho a abrasão de pavimentos asfálticos com adição de resíduo proveniente da mineração de cobre. Os autores desenvolveram 4 dosagens asfálticas, sendo uma mistura de referência (sem resíduo), uma mistura com 10% de resíduo, uma mistura com 20% de resíduo e uma mistura com 25% de resíduo. Para verificarem o desempenho misturas asfálticas, os autores utilizaram o ensaio a abrasão (Catambro). Os resultados mostraram que houve uma redução considerável do desgaste a abrasão (em 48% e 62%) com a adição 20 e 25% de resíduo em relação a areia.

Freitas, Ferreira & Branco (2019) avaliaram o avaliar a relação entre o dano por umidade e a permeabilidade em concretos asfálticos compostos por diferentes fileres: natural e cinza volante. Para isto, os autores analisaram misturas asfálticas com 4% de fíler natural e volume de vazios de 4 e 7%, e misturas com cinza volante com 4% de fíler natural e volume de vazios de 4 e 7%. Para determinação do dano por umidade, foram empregados o ensaio Lottman, assim como o processamento digital de imagens (PDI). Os resultados encontrados demonstraram que pode existir uma forte relação ( $R^2 = 0,98$  para amostras não condicionadas e  $R^2 = 0,75$  para amostras condicionadas) entre a resistência ao dano por umidade e a permeabilidade para as misturas asfálticas avaliadas. Enquanto a cinza volante não se comportou como melhorador de adesividade, o que pode ser relacionado a composição química deste material, além da sua heterogeneidade.

FROTA *et al.* (2007) estudaram misturas asfálticas com agregado sintético e com seixo rolado oriundo do leito dos rios amazonenses. As propriedades mecânicas foram investigadas por meio dos ensaios de RTCD e MR. Neste trabalho as misturas foram enquadradas na Faixa C do DNIT e dosadas conforme metodologia Marshall. Como resultado, os autores observaram que as misturas compostas com argila calcinada apresentaram resultados superiores em relação àquelas confeccionadas com seixo.

Adicionalmente, conforme destacado pelos autores, as misturas com ASAC apresentaram baixa tendência à deformação, como também, uma recuperação elástica considerável e menor susceptibilidade às deformações permanentes.

Mais recentemente, dando-se continuidade à pesquisa, Spínola *et al.* (2019), estudaram as propriedades mecânicas de concretos asfálticos com argila calcinada em temperaturas ambientais elevadas. No trabalho, os autores avaliaram as amostras asfálticas por meio do ensaio de resistência à tração na flexão (STF).

Os ensaios foram realizados em corpos de prova prismáticos por meio de carregamentos com cargas dinâmicas para simular as ações geradas pelo tráfego na base das camadas betuminosas do pavimento. Foram aplicados pulsos de carga senoidais variando-se as frequências, 1Hz, 3Hz e 10Hz. Quanto ao modo de carregamento, os autores utilizaram uma deformação controlada, com amplitude máxima de deformação de 50  $\mu\text{m}/\text{m}$ . as temperaturas de ensaio foram de 25 a 55°C. De modo geral, assim como observado em outras pesquisas, os concretos asfálticos com ASAC no trabalho de Spínola *et al.* (2019) apresentaram resultados satisfatórios.

Portanto, estudos voltados ao tema são imprescindíveis para aprimorar o uso de materiais alternativos nas composições de concreto asfáltico, buscando garantir o adequado desempenho dos componentes estruturais executados com este material e, conseqüentemente, miti-

gando a perda de funcionalidade e estrutural dos pavimentos rodoviários, bem como a redução do uso de materiais naturais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais utilizados

Os agregados minerais empregados foram a brita  $\frac{3}{4}$ ", brita  $\frac{3}{8}$ ", pó de pedra e areia, fornecidos por uma pedreira localizada em Porto Velho, Rondônia (RO). Referente ao grafite utilizado como fíler foi doado por uma empresa privada.

Relativo ao ligante asfáltico, utilizou-se neste trabalho o CAP 50/70, visto que é o aglomerante mais usado em obras de pavimentação asfáltico do estado de RO.

### Caracterização do grafite

#### Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria derivada (DTG)

Na composição dos pavimentos flexíveis, a produção e aplicação das misturas asfálticas são executadas em temperaturas que variam entre 150°C e 170°C. Assim, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento dos efeitos resultantes da alteração da temperatura pode provocar no grafite, permitindo determinar a faixa de temperatura em que o material adquire composição química fixa, definida e constante, e a temperatura no qual começam a se desagregar e perder suas propriedades.

A análise TGA estuda a variação de perda ou ganho de massa do material, enquanto a termogravimetria derivada DTG é o arranjo matemático, em que as curvas são medidas com base nas curvas de TGA e representam a derivada primeira da variação de massa em relação ao tempo, que é registrada em função da temperatura ou do tempo (CANEVAROLO, 2007; DENARI e CAVALHEIRO, 2012). O equipamento registra a decomposição térmica da amostra, resultado de sua perda de massa (degradação) sob forma de produtos voláteis.

O ensaio de TGA foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos (LaMAC/UFAM). A análise foi realizada utilizando o equipamento TA Instruments Systems SDT Q600, em uma faixa de temperatura de 0 a 700°C, com taxa de aquecimento de 20°C/min, até temperatura final (700°C), em atmosfera de nitrogênio N 5,0, com vazão de 30ml/min. Nesta análise foi utilizada massa de aproximadamente 10mg de amostra em cadinho de alumina. O cadinho utilizado nos testes foi o de alumina de 90 microlitros sem tampa.

### Dosagem da composição asfáltica

Para definição da composição granulométrica dos agregados usou-se o método de tentativas para o enquadramento da mistura na faixa granulométrica C da norma técnica ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT, 2006).

A determinação do teor ótimo de asfalto, empregou a metodologia Marshall, conforme as especificações estabelecidas pela norma da D6926 (ASTM, 2016), sendo confeccionada para a mistura estudada, cinco grupos de três corpos de prova cilíndricos com diferentes teores de

ligante asfáltico (4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5% e 6,0%), com 10cm de diâmetro  $6,35 \pm 1,5$ cm de altura, por meio da aplicação de 75 golpes por face, relativo a um tráfego.

Para produção da mistura asfáltica com grafite, os agregados foram aquecidos a temperatura de 167°C por 24 horas e misturados ao ligante a 157°C. Posteriormente ao processo de mistura/homogeneização, o concreto asfáltico foi condicionado por um período de duas horas na estufa (envelhecimento a curto prazo), na temperatura de compactação (144°C) para o processo de envelhecimento, conforme recomenda a norma D4867 (ASTM, 2014), sendo essas temperaturas obtidas por meio do ensaio de viscosidade Saybolt Furol.

## Analise mecânica

No presente estudo, o ensaio de resistência à tração indireta seguiu os procedimentos da norma ME 136 (DNIT, 2018). A norma prescreve que as resistências à tração por compressão diametral de misturas asfáltica sejam determinadas em uma temperatura específica de  $25^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Para este ensaio foram moldadas 20 amostras para mistura estudada. As amostras betuminosas foram submetidas uma carga estática com velocidade de 0,8mm/s no sentido diametral e na velocidade de  $0,8 \pm 0,1$ mm/s, até atingirem a ruptura. Após a ruptura dos corpos de prova, a resistência foi obtida pela Equação 1.

$$RTCD = \frac{2F}{\pi DH}$$

Onde:

RTCD = resistência à tração, à temperatura do ensaio (MPa);

F = carga de ruptura (N);

D = diâmetro de corpo de prova (mm); e

H = altura do corpo de prova (espessura) (mm).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Propriedades físicas

#### Agregados

A Tabela 1 mostra as características físicas dos agregados minerais, assim como os critérios de aceitação e suas respectivas normas de regulamentação.

**Tabela 1 - Caracterização física dos agregados virgens**

Propriedades	Resultados	Especificação	Norma
Massa específica real, brita ¾"	2,690 g/cm <sup>3</sup>	-	DNER-ME 081/98
Absorção, brita ¾"	3,25%	-	DNER-ME 081/98
Massa específica real, brita 3/8"	2,682 g/cm <sup>3</sup>	-	DNER-ME 081/98
Absorção, brita 3/8"	1,80%	-	DNER-ME 081/98
Massa específica, pó de brita	2,699 g/cm <sup>3</sup>	-	DNER-ME 084/95
Equivalente de areia	63,27%	>55%	DNER-ME 054/97
Índice de forma	0,71	>0,5	DNER-ME 086/94

Desgaste de Los Angeles	35,3	<50%	DNER-ME 035/98
-------------------------	------	------	----------------

Fonte: Autor (2022).

Analisando os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que as propriedades físicas dos minerais usados atendem as especificações das normas brasileiras. Deste modo, os agregados podem ser empregados na pavimentação asfáltica.

### Cimento asfáltico de petróleo (CAP)

Na Tabela 2 são apresentados os resultados e critérios de aceitação do ligante asfáltico utilizado na presente pesquisa.

**Tabela 2 - Caracterização física do ligante asfáltico 50/70**

Ensaio	Resultados	Especificação	Norma
Penetração -5s, 25°C	55	50 – 70	DNER-ME 155/10
Ponto de Amolecimento, min	53	46min.	DNER-ME 078/94
Ponto de fulgor, min	348	235min.	DNER-ME 148/94
Densidade 25°C	1,003	-	DNER-ME 193/96
Viscosidade Saybolt-Furol a 135 °C	184	141min.	DNER-ME 004/94
Viscosidade Saybolt-Furol a 150 °C	130	50min.	DNER-ME 004/94
Viscosidade Saybolt-Furol a 177 °C	35	30 - 150	DNER-ME 004/94

Fonte: Autor (2022).

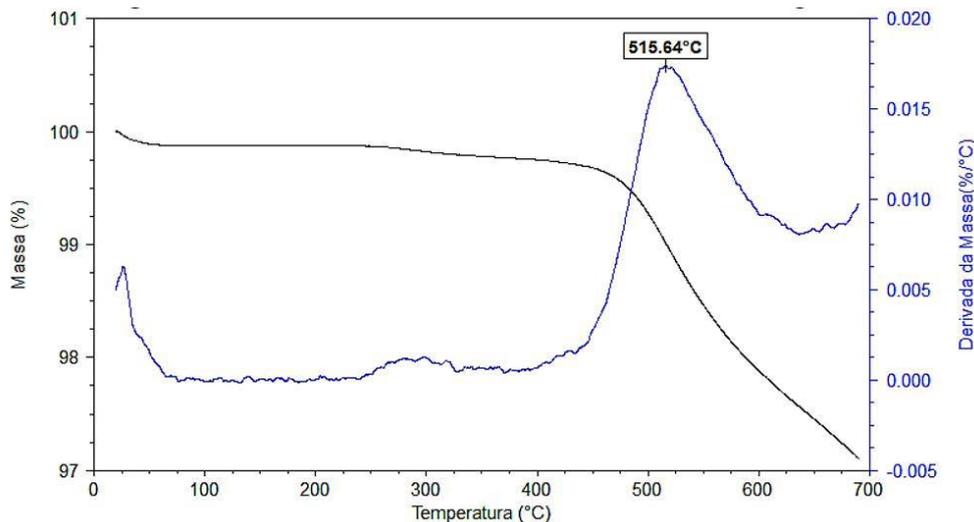
A Tabela 2 apresenta os valores dos ensaios de caracterização do CAP 50/70. Por meio da Tabela 2, observa-se que a penetração classificou o CAP como 50/70; o ponto de amolecimento e ponto de fulgor atenderam as especificações, ou seja, encontram-se acima do valor mínimo estabelecido por norma; os valores referentes as viscosidades Saybolt Furol e Brookfield, nas temperaturas 135, 150 e 177 °C, posicionaram-se de acordo com os limites especificados; a Solubilidade em tricloroetileno e a Ductilidade mostraram resultados satisfatórios; e os parâmetros posteriores ao processo de envelhecimento das amostras, em estufa de filme fino rotativo (RTFOT), igualmente atenderam ao preconizados pela ASTM.

### Características físicas e químicas

#### Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTG)

A TGA e DTG foram utilizadas para avaliar o comportamento térmico da amostra de grafite comercial. Os resultados são apresentados na Figura 1.

**Figura 1 - Curvas de TG e DTG da amostra de grafite**



Fonte: Autor (2022).

Observa-se nas curvas termogravimétrica da amostra do grafite comercial, mostra boa resistência térmica até 515,64°C, porque não possuem átomos de oxigênio em quantidade suficiente para desestabilizar sua estrutura. Após 515,64°C percebe-se o início do processo de degradação. No qual, a alta resistência térmica do grafite reflete uma temperatura de perda de massa de aproximadamente 6% do material na faixa de temperatura entre 515,64°C e 700°C, devido à oxidação de carbono, ocorrendo em único evento. Em síntese, os efeitos da temperatura na incorporação do grafite na matriz asfáltica, a 155°C, não acarretam a decomposição do material, mantendo assim suas propriedades e aplicabilidades.

### Composição granulométrica dos agregados

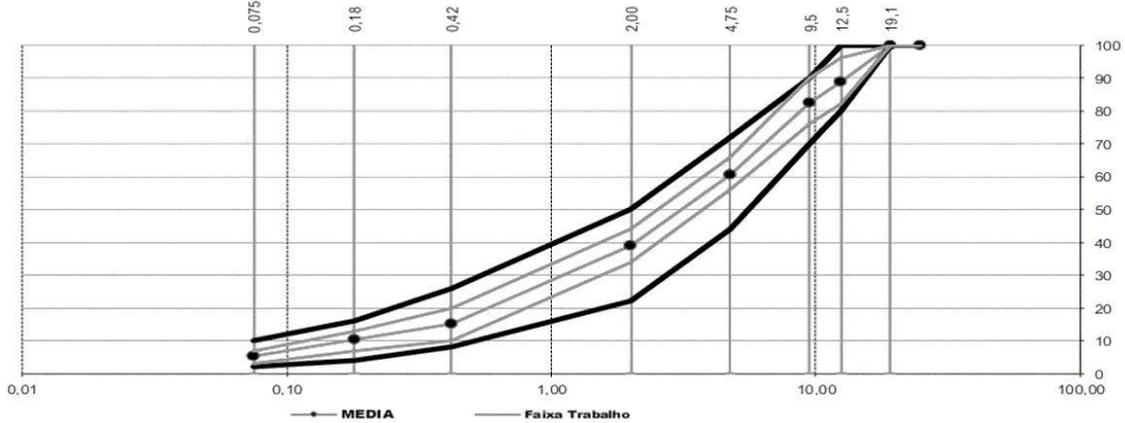
A curva granulométrica de projeto empregado para a produção da composição asfáltica alternativa, corresponde à faixa granulométrica C da norma técnica ES 031 (DNIT, 2006), conforme ilustrado na Tabela 3 e figura 2.

**Tabela 3 - Projeto de mistura de agregados**

Peneiras		Brita ¾"		Brita 3/8"		Pó de pedra		Grafite		Média	Especificação	
Números	Abertura (mm)	Média	17,0%	Média	33,0%	Média	50,0%	Média	0,0%	100,0%	DNIT-ES 031/2006 - Faixa C	
1"	25,00	100,0	17,0	100,0	33,0	100,0	50,0	100,0	0,0	100,0	100	100
¾"	19,10	100,0	17,0	100,0	33,0	100,0	50,0	100,0	0,0	100,0	100	100
½"	12,50	33,4	5,7	100,0	33,0	100,0	50,0	100,0	0,0	88,7	80	100
3/8"	9,50	7,6	1,3	95,0	31,4	100,0	50,0	93,6	0,0	82,6	70	90
n° 4	4,75	0,6	0,1	31,8	10,5	99,9	49,9	32,3	0,0	60,5	44	72
n° 10	2,00	0,4	0,1	2,2	0,7	76,0	38,0	1,6	0,0	38,8	22	50
n° 40	0,42	0,3	0,1	0,8	0,3	29,3	14,7	1,3	0,0	15,0	8	26
n° 80	0,180	0,2	0,0	0,7	0,2	20,3	10,2	1,1	0,0	10,4	4	16
n° 200	0,075	0,2	0,0	0,5	0,2	10,2	5,1	0,6	0,0	5,3	2	10

Fonte: Autor (2022).

**Figura 2 - Composição granulométrica dos agregados**

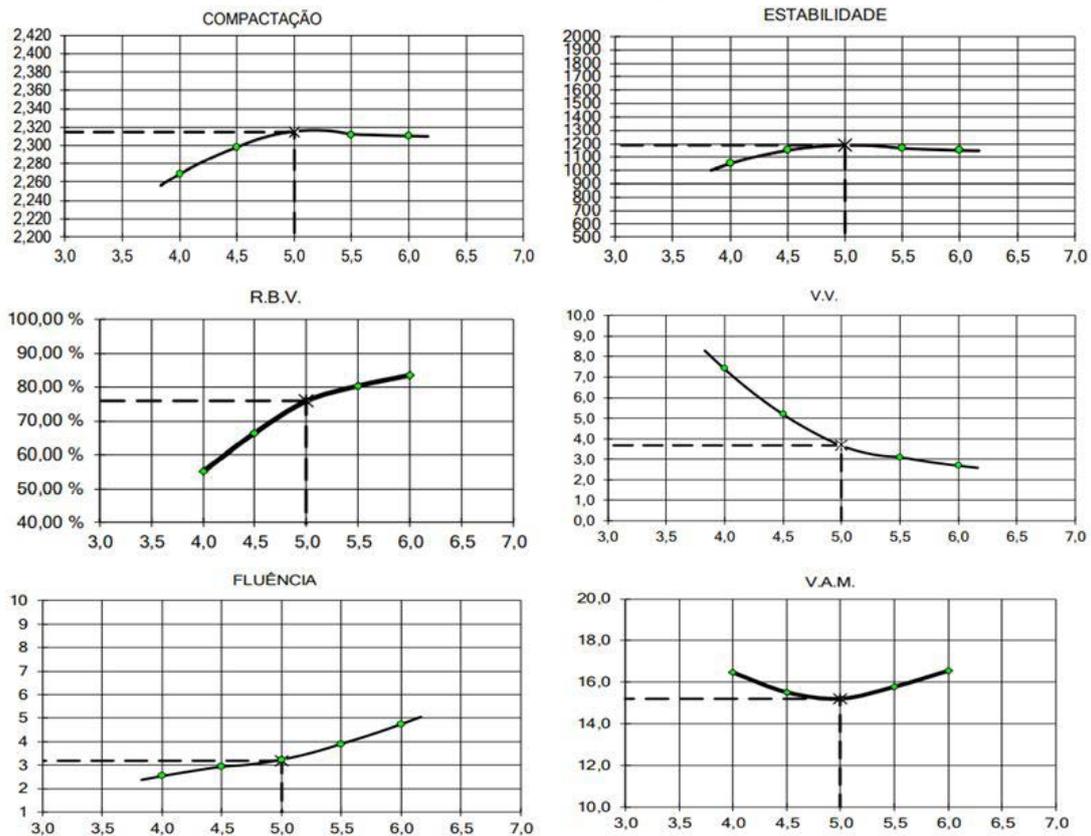


Fonte: Autor (2022).

## Dosagem Marshall

A figura 3 apresenta as propriedades volumétricas do concreto asfáltico estudado. Para facilitar a interpretação dos resultados, o concreto betuminoso com grafite é chamado de CA-GRAF.

**Figura 3 - Características de projeto, CA-GRAF**



Fonte: Autor (2022).

Baseado nos dados das figuras 3 e, por meio das curvas vazios x ligante, foi possível obter o teor ótimo de ligante (Tabela 4) correspondente ao critério de 4% de  $V_a$ , conforme as especificações da norma de regulamentação ES 031 (DNIT, 2006).

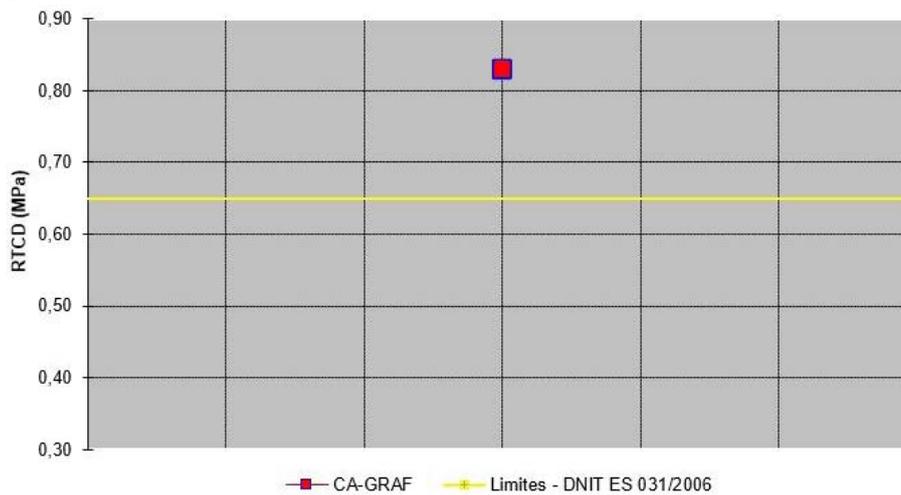
**Tabela 4 - Teor de projeto correspondente da mistura asfáltica**

Parâmetro	Resultados	Especificação
Teor ótimo	5,00%	4,70% - 5,30%
Densidade	2,315	-
Estabilidade	1188	>500
Volume de vazios com betume (RBV)	75,9%	75%-82%
Fluência	3,20	2-4,5
Volume de vazios (vv)	3,66	3%-5%
Volume de Vazios do Agregado Mineral (VAM)	15,20	>15

Fonte: Autor (2022).

## Comportamento mecânico

Na Figura 4 é mostrada, graficamente, a média aritmética dos resultados dos ensaios de RTCD da composição asfáltica produzida.

**Figura 4 - Resistência à tração por compressão diametral, mistura CA-GRAF**

Fonte: Autor (2022).

A partir dos dados mostrados na Figura 4, observa-se que, a composição CA-GRAF atingiu, em média, uma RTCD de 0,83MPa, e de acordo com a norma ES 031 (DNIT, 2006), uma mistura asfáltica, para utilização em obras de pavimentação, deve apresentar uma resistência à tração indireta mínima de 0,65MPa. Ou seja, a mistura asfáltica estudada apresentou resultados superiores às especificações citada na referida norma de regulamentação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, buscou-se avaliar o emprego de grafite em misturas asfálticas. Com base nos dados demonstrados, podemos apresentar as seguintes conclusões.

Os resultados de TGA e DTG mostraram o material grafite não apresenta decomposição nas temperaturas tradicionais (160 a 177°C) de trabalho das misturas asfálticas do tipo concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ); e

Os parâmetros volumétricos e resistência à tração indireta obtidas pela composição as-

fáltica alternativa se mostraram em conformidade ao exigido ES 031 (DNIT, 2006).

Deste modo, o emprego de grafite como material de enchimento resultou em efeitos benéficos, contribuindo favoravelmente no aumento de resistência mecânica de concretos asfálticos. Por último, a viabilidade financeira desse material nas técnicas de pavimentação e os procedimentos para mistura em grandes quantidades ainda deve ser estudada, bem como a execução de outros estudos investigativos.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). ASTM D4867: Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures. USA, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). ASTM D6926: Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus. USA, 2016.
- BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B. MOTTA, L. M.G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, Brasil: Petrobras, 2008.
- CANEVAROLO JR, S. V. Técnicas de caracterização de polímeros. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2007.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). Pesquisa rodoviária 2021: relatório gerencial. Brasília: In: Confederação Nacional do Transporte, 2021.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 004/94: Material betuminoso - determinação da viscosidade Saybolt-Furol a alta temperatura método da película delgada. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 035/98: Agregados - determinação da abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 054/97: Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 078/94: Agregado graúdo -adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 081/98: Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 084/95: Agregados miúdo - determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1995.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 086/94: Agregado - determinação do índice de forma. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 148/94: Material

betuminoso - determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland). Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 155/10: Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Brasil, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 193/96: Materiais betuminosos líquidos e semi-sólidos - determinação da densidade e da massa específica. Rio de Janeiro: Brasil, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Restauração Pavimentos Asfálticos. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasil, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de pavimentação 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. Princípios e aplicações de análise térmica. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). ES 031/2006: Pavimentos flexíveis: concreto asfáltico: especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). ME 136/2018: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

FREITAS, F. N. R.; FERREIRA, W. L. G.; BRANCO, V. T. F. C. Avaliação da relação entre o dano por umidade e a permeabilidade de misturas asfálticas contendo cinza volante como fíler. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 11, p. 18-29, 2019.

FROTA, C. A.; NUNES, F. R. G.; SILVA, C. L.; MELO, D. M.; SANTOS, M. G. R. Desempenho mecânico de misturas asfálticas confeccionadas com agregados sintéticos de argila calcinada. Cerâmica, v.3, p. 255-262, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2021. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 25 janeiro de 2022.

KATO, R. B.; SOUZA, J. A. Estudo do desempenho a abrasão de pavimentos asfálticos com adição de resíduo proveniente da mineração de cobre. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 9, p. 137-145, 2017.

SENÇO, W. Manual de técnicas de pavimentação. V.1, 2.ed. ampla, PINI-SP, 2007.

SILVA, J. P. S.; FARIAS, M. M. Estudo dos efeitos de produtos rejuvenescedores no comportamento físico, químico e reológico de ligante asfáltico envelhecido. Transportes, v. 28, p. 91-102, 2020.

SPÍNOLA, J. R.; SILVA, A. C. L.; PEREIRA, A. G.; FROTA, C. A. Flexural Tensile Strength of Asphalt Composites with Calcined Clay under Four-Point Bending. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences, v. 61, p. 119-134, 2019.



# Segurança do trabalho na construção civil: uma revisão bibliográfica

---

Alex Gomes Pereira  
Diego Melo Guimaraes  
Kauê Rodrigues da Motta  
João Vitor Ebeling de Oliveira  
Eduardo Rosa Tiburcio Pinheiro  
Eduardo da Silva Ramos  
Antônio Gabriel Farias Goudim  
David Alan Taufmann Ferreira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.11

## RESUMO

A construção civil é um ramo da indústria que envolve a mão de obra direta do trabalhador, como resultado, os colaboradores da construção civil estão expostos aos mais diferentes riscos que podem provocar danos à integridade física e mental. Assim, os acidentes de trabalho devem ser tratados com atenção, visto que sem a correta atenção dos mesmos, tem-se como resultado altos custos, incapacitação temporária e permanente e óbitos. Dada a importância que a engenharia de segurança representa para a construção civil, o presente trabalho busca realizar uma revisão bibliográfica sobre a segurança no trabalho na indústria da construção civil. Para o desenvolvimento do trabalho, fez-se a opção pela pesquisa bibliográfica e descritiva, uma vez que se trata de metodologias que permitem a busca científica do conhecimento já consolidado na literatura especializada.

**Palavras-chave:** segurança no trabalho. construção civil. acidentes.

## ABSTRACT

Civil construction is a branch of industry that involves the direct labor of the worker, as a result, civil construction employees are exposed to the most different risks that can cause damage to physical and mental integrity. Thus, accidents at work must be treated with care, since without proper care, high costs, temporary and permanent disability and deaths result. Given the importance that safety engineering represents for civil construction, the present work seeks to carry out a literature review on safety at work in the construction industry. For the development of the work, the option was made for bibliographic and descriptive research, since these are methodologies that allow the scientific search for knowledge already consolidated in the specialized literature.

**Keywords:** safety at work. civil construction. accidents.

## INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o processo de vida humano é marcado pelo crescimento das incertezas e da sensação de fragilidade diante dos fatores de risco e vulnerabilidade aos quais todos os seres humanos estão diretos ou indiretamente expostos. Essas problemáticas ecoam também no cotidiano de trabalho dos indivíduos, em razão de o trabalho exercer papel central na vida humana (SANTOS *et al.*, 2012).

No campo da construção civil, as questões referentes ao risco estão ainda mais presentes, visto que os profissionais do ramo se expõem rotineiramente a múltiplos e variados riscos relacionados à alta incidência de acidentes de trabalho fatais.

Segundo Machado (2015) são inúmeros fatores que podem contribuir de forma direta ou indireta para a situação atual deste setor, além da grande exposição aos agentes de risco e à ausência de prevenção (Figura 1), a falta de conhecimento quanto à importância da segurança no lugar de trabalho torna-se um grande complicador para esta realidade.

**Figura 1 - Colaborador trabalhando sem proteção em ambientes de risco**



**Fonte: Autores (2022).**

Além disso, a falta de mão de obra qualificada, o desleixo quanto às normas de segurança, alojamentos de caráter temporário, são alguns fatores que contribuem para que a construção civil seja um dos líderes nas estatísticas de segurança e saúde do trabalho. Nesta temática, o presente trabalho consiste em realizar uma revisão literária sobre a importância da segurança no trabalho aplicada a indústria da construção civil para a redução de acidentes.

## **METODOLOGIA**

A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão sistemática de literatura. A coleta de dados se deu por meio de busca eletrônica, em que foi realizado um levantamento de bibliografias na base de dados Scopus, Web of Science e o Google acadêmico. De acordo com Sampaio e Mancini (2007) uma revisão sistemática é um estudo que busca materiais secundários em verificação de evidências sobre um determinado assunto.

Assim, foram considerados todos os tipos de trabalhos científicos considerados úteis para a pesquisa, como artigos científicos, teses e dissertações publicados na literatura brasileira.

## **SEGURANÇA DO TRABALHO**

Segundo Marras (2000) a segurança do trabalho é o ramo que atende pela segurança industrial, pela higiene e medicina do trabalho em relação aos colaboradores da empresa, agindo setor de prevenção, correção, estudos e atividades constantes que compreendam acidentes no trabalho e a saúde do colaborador.

Pelo meio da segurança do trabalho que se pesquisa e estuda os sinais e as causas dos acidentes e doenças de atividade contínua, natural das atividades de ocupação, apresentando como principal funcionalidade a prevenção de tais acontecimentos ou fatalidades. Entende-se

que as pesquisas de acidentes, doenças e até óbitos são cada vez mais expressivos, assim, considera-se que é de extrema necessidade manter um ambiente saudável e seguro para os colaboradores que desfrutam do mesmo, ou seja, o contratado e o contratante, assegurando a saúde física e mental para ambos (BARBOSA, 2018).

A segurança tem em vista evitar o acidente de trabalho, que dizer, aquilo que acontece pelo exercício do trabalho a serviço da firma, causando lesões físicas e funcionais que causam a morte ou redução permanente ou temporária da capacidade para o trabalho. O acidente é um acontecimento não programado, inesperado, que interrompe o processo normal de uma atividade, provocando perda de tempo útil e lesões nos trabalhadores e danos materiais (DINIZ, 2005).

## Aspectos históricos da segurança no trabalho

Juntamente com a revolução industrial apareceram vários problemas relacionados à saúde e à segurança do trabalhador. A relação direta com o maquinário pesado, e com os agentes químicos e físicos ficou agravante a sua realidade, que, além do descaso de seus empregadores, vivia com circunstâncias precárias no ambiente de trabalho (BARBOSA, 2018).

Com suas necessidades básicas negadas, os contratados trabalhavam de forma exagerada com o objetivo de completar a produção em grande escala. O qual tomará o lugar da até então atividade que era manual, logo, acidentes tornavam-se cada vez mais comum, além de problemas de esgotamento mental, como cansaço e estresse (BARBOSA, 2018).

As novas indústrias existiam em locais inadequados e as condições de trabalho chegavam a ser desumanas. A mão de obra escrava e até infantil era frequente, tornando desse modo a existência de adultos transportadores de doenças ocupacionais rotineiras, por ser acessível, expondo o quão se priorizava apenas o lucro. O resultado desta realidade eram os altos índices de doenças, acidentes de trabalho e até óbitos presentes na época (BARBOSA, 2018).

No entanto, hoje em dia, para se chegar no objetivo desejado, os profissionais da área atuam por meio de estudos e da aplicação de técnicas e normas específicas, que propõe pesquisar as possíveis causas que levam a acidentes de trabalho e a doenças ocupacionais, conseguindo assim, evitar que venham a ocorrer no ambiente de trabalho, abalando a produtividade, a qualidade de vida, a saúde e a segurança dos colaboradores de uma empresa em geral.

Sendo esse um ramo de grande importância, no entanto, em sua maioria ignorado, mesmo sendo responsável pela manutenção da vida, ambiente seguro e até diminuição de custos, visto que os danos causados aos colaboradores afetam diretamente o empregador (RIBEIRO FILHO, 1974).

## Segurança e saúde na indústria da construção civil

### Acidentes de trabalho

Segundo o Tribunal Superior do Trabalho (TST), conforme dispõe o art. 19 da Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991 (BRASIL, 1991), define-se acidente de trabalho como:

“O que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço de empresa ou de empregador doméstico ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou

redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho.”

Para Marras (2000) os acidentes de trabalho são eventos involuntários oriundos tanto de um ato inseguro quanto de uma condição insegura que podem causar danos ao colaborador e à empresa.

Dentre os inúmeros setores da indústria brasileira, destaca-se o setor da construção civil como um dos segmentos que mais registram acidentes de trabalho no Brasil. Por se tratar de uma área extremamente perigosa, onde os acidentes de trabalhos podem ser dos mais cotidianos e/ou dos mais graves, além dos acidentes de trajeto.

De acordo com Prates *et al.* (2016) os principais fatores relacionados à causalidade dos acidentes de trabalho na construção civil é a falta de informação, de treinamento e do conhecimento da importância da utilização de equipamentos de segurança (equipamento de proteção individual - EPI e equipamento de proteção coletiva - EPC) (Figura 2), comprometendo diretamente os colaboradores e a organizações que o abrigam, e indiretamente à sociedade.

**Figura 2 - Ambiente com alto risco de acidentes**



**Fonte: Autores (2022).**

Deste modo, entende-se que a prevenção se trata da melhor maneira de lidar com os acidentes de trabalho (PRATES *et al.*, 2016).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta pesquisa, buscou-se realizar uma revisão da literatura sobre a segurança do trabalho na construção civil, visando demonstrar a importância do tema. Para isto, foi feito um levantamento das principais bibliografias sobre o tema em estudo.

Como resultado, foi possível compreender as principais características sobre a segurança do trabalho na indústria da construção civil, destacando os principais motivos de acidentes no ramo da construção civil, assim como as consequências de acidentes para o setor.

Por fim, espera-se que este trabalho, possa trazer benefícios para a construção, bem

como contribuir na reflexão e concretização sobre a importância da segurança no trabalho da construção civil.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, A. N. F. Segurança do Trabalho & Gestão Ambiental. São Paulo: Atlas - 4ª Ed. 2011.

BARBOSA, P. R. B.; R. P. Segurança do Trabalho Guia Prático e Didático. [S.l.]: Saraiva Educação S.A., 2018.

BRASIL. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os planos de benefícios da previdência social e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8213cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8213cons.htm). Acesso em: 25 fev. 2022.

DINIZ, A. C. Manual de Auditoria Integrado de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA). 1. ed. São Paulo: VOTORANTIM METAIS, 2005.

MACHADO, D. B. Segurança do trabalho na construção civil: um estudo de caso. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MARRAS, J. P. Administração de recursos humanos: do operacional ao estratégico. 8ª ed. São Paulo: Futura, 2000.

PRATES, A. E; VARGAS, M. L; QUEIROZ, D.P.P; FINELLI, L.A.C. Uso de Equipamento de Proteção Individual pelos Trabalhadores da Construção Civil. Revista Bionorte, v. 5, n. 2, jul. 2016.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. Brazilian Journal of Physical Therapy, v. 11, p. 83-89, 2007.

SANTOS, J. L. G.; VIEIRA, M.; ASSUITI, L. F. C.; GOMES, D.; MEIRELLES, B. H. S.; SANTOS, S. M. A. Risco e vulnerabilidade nas práticas dos profissionais de saúde. Revista Gaúcha de Enfermagem (UFRGS. Impresso), v. 33, p. 205-212, 2012.

RIBEIRO FILHO, L. F. Técnicas de segurança do trabalho. São Paulo, 1974.



**Análise das propriedades físicas  
têxteis e alteração dimensional em  
malhas de algodão e elastano**

**Analysis of physical textile properties  
and dimensional change in cotton and  
elastane knitters**

---

Fabia Regina Gomes Ribeiro  
Gabriele Kyoko Takahashi de Oliveira  
Leandro da Silva Pereira  
Patricia Mellerio Machado Cardoso

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.12

## RESUMO

Os tecidos de malha de algodão possuem várias propriedades elásticas, que confere uma maleabilidade e um melhor ajuste as formas corporais, entretanto essas propriedades também afetam as dimensões do tecido, podendo ocasionar torções, deformidades e alongamentos que causam influência diretamente na estabilidade dimensional de artigos confeccionados. Uma maneira de melhorar essa estabilidade é a adição de elastano na composição da malha de algodão, que é uma combinação que expande a quantidade de aplicações dessa malha no vestuário, podendo ser utilizada em diversos segmentos da indústria de confecção. Além da composição, outros fatores podem alterar a estabilidade dimensional das malhas de trama. Neste trabalho foi realizado um comparativo de diversas propriedades físicas utilizando 3 malhas (meia malha) de algodão com elastano, variando o título do elastano em 20, 40 e 70 Den. Este estudo teve como objetivo investigar os efeitos da porcentagem de elastano nas propriedades de gramatura, densidade, estrutura, alongamento, elasticidade, força de tração e estabilidade dimensional. Todos os testes experimentais foram realizados de acordo com as normas brasileiras, seus resultados foram calculados e analisadas suas influências na estabilidade do tecido de malha de trama de algodão com diferentes porcentagens de elastano. A partir dos resultados obtidos foi possível comprovar que título do elastano tem influência direta em todas as propriedades analisadas e também na estabilidade dimensional das malhas de algodão com elastano. Foi constatado que o aumento do percentual de elastano proporciona um aumento nos valores das propriedades analisadas e na estabilidade dimensional das malhas analisadas.

**Palavras-chave:** engenharia têxtil. qualidade. elastano. algodão. malharia.

## ABSTRACT

Analysis of physical textile properties and dimensional change in cotton and elastane knitters Cotton knitted fabrics have several elastic properties, which provide malleability and a better fit to body shapes, however these properties also affect the dimensions of the fabric, which can cause twists, deformities and elongations that directly influence the dimensional stability of manufactured articles. . One way to improve this stability is the addition of elastane in the composition of the cotton knit, which is a combination that expands the number of applications of this knit in clothing, and can be used in several segments of the clothing industry. In addition to composition, other factors can change the dimensional stability of weft meshes. In this work, a comparison of several physical properties was carried out using 3 meshes (half mesh) of cotton with elastane, varying the elastane title in 20, 40 and 70 Den. This study aimed to investigate the effects of the percentage of elastane on the properties of weight, density, structure, elongation, elasticity, tensile strength and dimensional stability. All experimental tests were performed according to Brazilian standards, their results were calculated and their influence on the stability of cotton weft knitted fabric with different percentages of elastane was analyzed. From the results obtained, it was possible to prove that the elastane title has a direct influence on all the properties analyzed and also on the dimensional stability of cotton knits with elastane. It was found that the increase in the percentage of elastane provides an increase in the values of the analyzed properties and in the dimensional stability of the analyzed meshes.

**Keywords:** textile engineering. quality. spandex. cotton. knitting.

## INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma cadeia produtiva extensa e segmentada, que envolve a obtenção de fibras naturais e químicas, a fiação de fios e filamentos, a tecelagem, a malharia, os processos de acabamento e a confecção de produtos têxteis. No Brasil, destaca-se a produção de fibras e fios químicos sintéticos, bem como a confecção de artigos têxteis com esses materiais (ABIT e CNI, 2017). Nos últimos anos, houve um aumento significativo na fiação e utilização de fios sintéticos combinados com fibras naturais ou substituindo-as, com destaque para a combinação de algodão e elastano para fabricação de tecidos e malhas com maior elasticidade (NAVARRO, 2007; SEDUC, [s.d.]).

O objetivo deste estudo é comparar as propriedades físicas e de estabilidade dimensional de malhas com diferentes porcentagens de elastano na composição, a fim de identificar a influência do elastano nessas propriedades e compreender melhor o comportamento da malha. Segundo Sanches (2006), tecidos de malha em geral já apresentam elasticidade e alongamento, o que confere conforto e um melhor ajuste do vestuário ao corpo. No entanto, a baixa estabilidade dimensional da malha pode causar problemas durante o processo de confecção dos artigos (CHEREM, 2004). Para diminuir os efeitos da alteração dimensional, são utilizadas fibras elastoméricas como o elastano, que conferem maior adequação em relação ao alongamento e recuperação elástica da malha (ROMANI, 2016). Assim, o presente estudo visa analisar o impacto do elastano nas propriedades físicas e de estabilidade dimensional da malha, para melhorias na cadeia têxtil e na indústria de confecção como um todo.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Indústria têxtil

A indústria têxtil é uma das mais tradicionais e complexas do mundo, sendo bastante extensa e contando com diferentes etapas e processos descontínuos para obtenção de variados produtos (BEZERRA, 2014; PÉREZ, 2017). O processo produtivo têxtil pode ser dividido em quatro etapas: a obtenção de fibras naturais ou fibras químicas (artificiais e sintéticas) como matérias primas para a indústria de fiação, após o processo de fiação esses fios serão transformados em tecidos planos malhas, e não tecidos, a próxima etapa é o acabamento que pode consistir em tingimentos, estampas, revestimentos, acabamentos mecânicos, e na última etapa os tecidos podem ser transformados em vestuário, artigos de cama mesa e banho, produtos de aplicação industrial (filtros, geotêxteis, componentes de automóveis), entre outros (PÉREZ, 2017; ABDI e UNICAMP, 2008).

### Fibras e Fios

As fibras têxteis podem ser classificadas de acordo com a sua origem, sendo dividida em dois grandes grupos, fibras naturais e fibras químicas (SENAI MIX DESING, 2014). As fibras naturais se subdividem em fibras de origem vegetal, animal e mineral, já as fibras químicas se dividem em artificiais e sintéticas. Cherem (2004) diz que as fibras naturais e químicas se diferem em muitos aspectos e cada fibra possui características e propriedades diferentes, como o tamanho e cristalinidade da cadeia molecular, massa específica, aspectos visuais, temperatura

de fusão, elasticidade, hidrofiliidade, entre outras. O estudo e conhecimento das características e propriedades das fibras é o primeiro passo para o desenvolvimento dos demais produtos da cadeia têxtil, como tecidos, malhas, não tecidos e peças confeccionadas.

A fibra de algodão é uma das principais fibras naturais, diferenciando-se das outras pelas suas características, estrutura interna, formato e dimensões (SEDUC, [s.d.]). O tecido de algodão é amplamente conhecido e utilizado devido à sua versatilidade e potencial para inovação. A fibra de algodão possui várias propriedades desejáveis para a indústria têxtil, como um bom isolamento térmico, um toque macio, uma grande capacidade de absorção de água e uma elasticidade e resiliência satisfatórias (KUASNE, 2008).

De acordo com Navarro (2007), o elastano é uma fibra sintética composta pelo polímero poliuretano, sendo uma fibra leve e comumente utilizada em tecidos e artigos confeccionados que precisem de uma maior elasticidade, caimento, conforto e contorno da vestimenta no corpo, como: malhas para roupas íntimas, meias, ribanas, moda praia e artigos esportivos. Entre suas propriedades mais importantes estão seu alto alongamento e recuperação, é resistente ao sol e a água salgada e mantém sua flexibilidade ao longo do tempo.

Segundo o Senai Mix Desing (2015), o fio têxtil é uma estrutura com densidade linear que tem propriedades específicas para o seu uso em têxteis. Pode ser dividido em dois tipos: fio fiado e filamento contínuo, o fio fiado é feito a partir de fibras descontínuas, enquanto o filamento contínuo é originado de fibras químicas que formam um cabo contínuo. O título é a densidade linear do fio e os tipos mais adotados de sistemas de titulação, de acordo com parâmetros internacionais, são o sistema direto e o sistema indireto (SENAI MIX DESIGN, 2015).

## Malhas

A malharia, é o processo de transformação dos fios em tecido de malha através do entrelaçamento do fio nele mesmo em forma de laçadas (ABIT, 2011). Segundo Sanches (2006), as malhas têm uma baixa estabilidade dimensional e alta maleabilidade, apresentando um comportamento não linear à tração e deformam-se facilmente. O destaque desse tecido no mercado têxtil é devido a uma ampla gama de aplicações.

## Propriedades físicas

No Quadro 1 temos todas as propriedades utilizadas e suas definições:

**Quadro 1 - Propriedades físicas importantes para o estudo das malhas**

Gramatura	É a relação de massa por unidade de área, que também pode ser descrita como quantidade de fibras em gramas por metro quadrado de tecido de malha (ABNT, 2008).
Densidade	É a quantidade de carreiras/cursos e colunas por unidade de comprimento, geralmente expressada em carreiras/cursos por centímetro e colunas por centímetro ou malhas por centímetro quadrado (ABNT, 2002).
Resistência e Alongamento à Ruptura	A resistência expressa a força que o tecido de malha suporta até o seu rompimento e o alongamento indica o quanto a malha aumenta em dimensão até sua ruptura (ABIT, 2011).
Alteração Dimensional	É a característica do tecido de manter dimensões sem se modificar pelo uso e manuseio (CHEREM, 2004).
Elasticidade e Alongamento	A elasticidade é a propriedade do tecido de recuperar a deformação causada por uma aplicação de carga, enquanto o alongamento é o quanto esse tecido se deforma durante a aplicação dessa carga (ABNT, 1993).

Fonte: Cherem (2004)

## **METODOLOGIA**

Esse trabalho foi desenvolvido a partir da metodologia de pesquisa explicativa uma vez que se propôs a identificar as propriedades físicas e os fatores que influenciam o alongamento, elasticidade e estabilidade dimensional de tecidos de malha com elastano. O desenvolvimento foi realizado pelo método experimental que teve como objeto de estudo malhas com diferentes porcentagens de elastano na composição e de suas propriedades bem como o controle e observação dos dados obtidos pelos experimentos em conformidade com as normas técnicas brasileiras.

### **Propriedades físicas**

A análise de gramatura foi realizada conforme a metodologia da ABNT NBR 10591:2008 – Materiais Têxteis – Determinação da gramatura de superfícies têxteis. Foram utilizados cinco corpos-de-prova, retirados de partes do tecido sem defeitos, que foram pesados e medidos para se obter a média aritmética dos valores. A gramatura foi expressa em  $g/m^2$ .

A densidade foi realizada conforme a metodologia da ABNT NBR 12060:2002 Materiais têxteis – Determinação do número de carreiras/cursos e colunas em tecidos de malha. Para este ensaio foram preparadas amostras para a contagem dos cursos e colunas, obtendo-se a média aritmética dos valores. A densidade foi expressa em número de carreiras por centímetro e número de colunas por centímetro.

A estrutura da malha foi analisada conforme a metodologia da ABNT NBR 13460:1995 Tecido de malha por trama – Determinação da estrutura. Para este ensaio preparou-se uma amostra com pelo menos três raportes, que foi desmalhada para observação das evoluções que formam o raporte, representando-o graficamente. Logo após, foi feita a classificação da malha de acordo com as estruturas fundamentais.

A elasticidade e alongamento foram determinadas conforme a metodologia da ABNT NBR 12960:1993 Tecido de Malha – Determinação da elasticidade e alongamento. Para este ensaio foi preparada uma amostra que foi dobrada de modo que a aresta da dobra estava alinhada com as colunas da malha, o corpo de prova foi cortado e costurado duplo com dimensões de 20 cm na dobra e na lateral costurada e 50 cm nas laterais abertas. A amostra preparada foi fixada ao suporte do equipamento com um peso de 1100 g na extremidade inferior do corpo de prova. O corpo-de-prova ficou 120 segundos, sob ação da carga e após esse período, mediu-se o comprimento. Logo após esse processo a amostra passou por um descanso de 10 min e seu comprimento foi medido novamente para determinação da elasticidade e alongamento da malha que foram expressos em porcentagem.

Para as medidas de tração foram adaptados os procedimentos da metodologia da ABNT NBR ISO 13934-1:2016 Têxteis – Propriedades de tração de tecidos Parte 1: Determinação da força máxima e alongamento à força máxima (à ruptura) utilizando o método de tira, para o ensaio de malhas. Para este ensaio foi preparada uma amostra conforme especificado na norma brasileira, ou seja, retirou-se uma amostra de 1 m de comprimento e largura total da malha, retirada de uma parte do tecido sem defeitos. Em seguida, cortou-se dois grupos de corpo-de-prova: um conjunto na direção do urdume e um conjunto na direção da trama com dimensões 2 cm por 5 cm. Após a preparação das amostras as mesmas foram testadas no equipamento dinamômetro

e os dados fornecidos pelo equipamento foram compilados e analisados.

## Alteração dimensional

As alterações dimensionais foram determinadas conforme a metodologia da ABNT NBR 10320:1988 Materiais têxteis – Determinação das alterações dimensionais de tecidos planos e malhas – Lavagem em máquina doméstica automática – Método de ensaio. Para este ensaio foram preparados 3 corpos-de-prova: cortou-se 3 amostras com 380 x 380 mm e foram feitas três séries de marcas de 250 mm paralelas ao comprimento e três séries de marcas paralelas a largura do corpo-de-prova. Logo após foi realizada a lavagem dos corpos-de-prova com detergente em máquina doméstica no ciclo normal até o final do ciclo. As amostras foram secas em corrente de ar pendurando o corpo-de-prova por duas extremidades com o sentido longitudinal na posição vertical. Os corpos-de-prova foram condicionados e foi medida a distância entre cada marca com precisão de 1 mm. O ciclo de lavagem e secagem foi repetido por mais quatro vezes e os corpos-de-prova foram medidos novamente após o quinto ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho foram utilizadas 3 amostras de tecido de malha de trama de cor azul, sendo denominadas Malha 1, Malha 2 e Malha 3. As malhas foram produzidas em tear circular Orizio JH/V, finura de 28, diâmetro de 32”, 102 alimentadores e 2760 agulhas, utilizou-se também um LFA de 830. Cada uma delas foi produzida com elastano de diferente titulação, conforme especificado na Tabela 1, sendo assim, cada uma delas possui uma composição diferente de algodão e elastano.

**Tabela 1 - Características das amostras de malha**

Identificação	Título do Fio 1 – 100%CO	Título do Fio 2 – PUE	Estiramento	Largura aberta (m)	Composição
<b>Malha 1</b>	Ne 30/1	20 Den	2,8%	1,91	90% CO 10% PUE
<b>Malha 2</b>	Ne 30/1	40 Den	3,0%	1,86	80% CO 20% PUE
<b>Malha 3</b>	Ne 30/1	70 Den	3,0%	1,72	70% CO 30% PUE

Fonte: Autoria própria, (2022)

## Propriedades físicas

Para o cálculo da gramatura, utilizou-se a Equação (1). Obteve-se os valores em gramas da área de 10 cm<sup>2</sup>, que foram transformados para a unidade de gramas/metros quadrados, apresentados na Tabela 2.

$$\text{Gramatura} = \bar{M}/100 \quad (1)$$

**Tabela 2 - Peso em gramas das amostras**

<b>Amostra</b>	<b>Malha 1</b>	<b>Malha 2</b>	<b>Malha 3</b>
<b>1</b>	1,73	2,32	3,36
<b>2</b>	1,73	2,37	3,27
<b>3</b>	1,76	2,29	3,24
<b>4</b>	1,71	2,25	3,22
<b>5</b>	1,72	2,28	3,30
<b>Peso Médio</b>	<b>1,73</b>	<b>2,30</b>	<b>3,28</b>
$\sigma$	0,0187	0,0455	0,0550
CV%	1,0814	1,9764	1,6765
<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>173,00</b>	<b>230,20</b>	<b>327,80</b>

Fonte: Autores (2022)

Os resultados da densidade mostram que com o aumento do título do elastano na composição das malhas, existe uma tendência de aumento na densidade. Pode-se perceber também o aumento da gramatura em relação ao aumento do título do fio. Isso se deve ao fato de o aumento do título Denier representar um aumento na massa desse fio de elastano influenciando o aumento da gramatura final das Malhas 1, 2 e 3. Os resultados de densidade das Malhas 1, 2 e 3 são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Densidade Malha 1**

<b>Amostra</b>	<b>Malha 1</b>		<b>Malha 2</b>		<b>Malha 3</b>	
	Carreiras/cm	Colunas/cm	Carreiras/cm	Colunas/cm	Carreiras/cm	Colunas/cm
<b>1</b>	20	14,5	24	16	30	17
<b>2</b>	20	15	24	16	31	16,5
<b>3</b>	20	14,5	24	15,5	30	16,5
<b>4</b>	20	14,5	24	16	31	16,5
<b>5</b>	20	14,5	24	16	31	16,5
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>14,6</b>	<b>24</b>	<b>15,9</b>	<b>30,6</b>	<b>16,6</b>
$\sigma$	0,00	0,22	0,00	0,22	0,55	0,22
CV%	0,0%	1,5%	0,0%	1,4%	1,8%	1,3%
<b>Densidade (cm<sup>2</sup>)</b>	292	381,6	507,96			

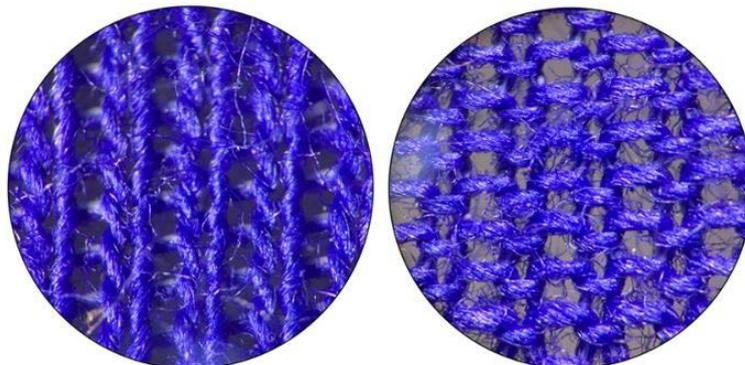
Fonte: Autores (2022)

No fio de elastano, quando aplicada uma tensão no sentido do comprimento, o fio sofrerá estiramento de 4 a 7 vezes seu tamanho original que ocasiona uma diminuição no título do fio enquanto tensionado, que voltará totalmente ao seu estado original quando a tensão cessar (ROMANI, 2016; SAYED, 2015). A malha confeccionada com o fio de elastano tensionado sofre uma retração na largura e no comprimento ocasionando um aumento da densidade da malha no sentido das carreiras e das colunas (ROMANI, 2016), isso faz com que ocorra um aumento na quantidade de pontos por centímetro de acordo com o aumento no título e da tensão de estiragem do elastano, como apresentado na Tabela 3. Com o aumento da densidade de pontos, o peso da malha é maior pois há uma maior quantidade de pontos e consequentemente de fios e fibras, resultando em uma maior gramatura como observado na Tabela 2.

Por meio da análise da estrutura das Malhas 1, 2 e 3 foi possível identificar que as malhas possuem a mesma contextura, com passamento do fio de elastano em todas as carreiras da

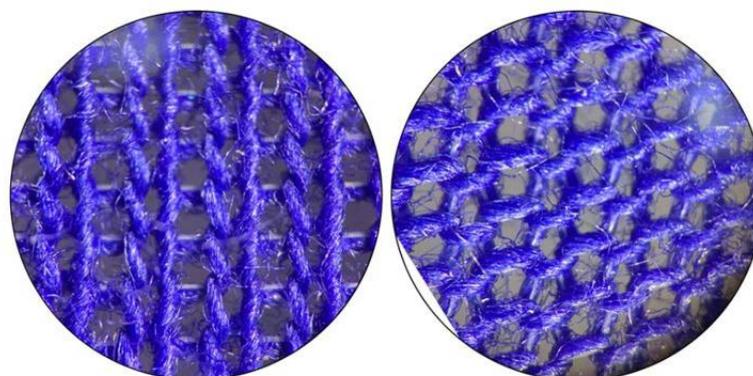
malha. A contextura é a meia malha (Jersey), esta considerada uma contextura básica monofron-  
tura, tendo lado direito e avesso bem definido como ilustrados nas Figuras 1 à 3.

**Figura 1 - Lado direito e avesso da Malha 1, respectivamente**



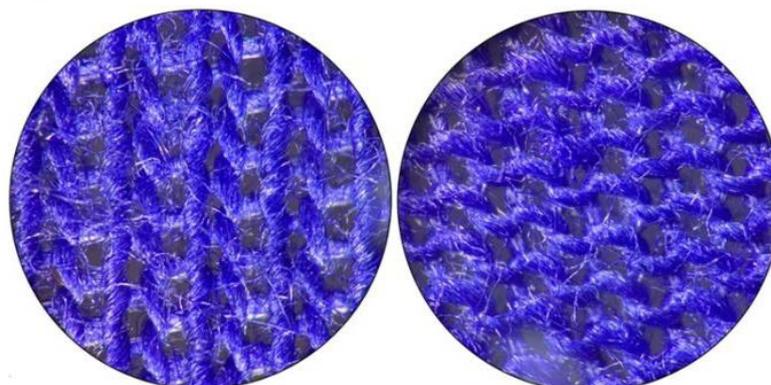
Fonte: Autores (2022)

**Figura 2 - Lado direito e avesso da Malha 2, respectivamente**



Fonte: Autores (2022)

**Figura 3 - Lado direito e avesso da Malha 3, respectivamente**



Fonte: Autores (2022)

Na meia malha, as agulhas formam o tecido em uma única direção, apresentando uma  
diferença de tensão entre o lado avesso e direito da malha, fazendo com que a malha tenha uma  
tendência de enrolamento nas bordas ou ourelas.

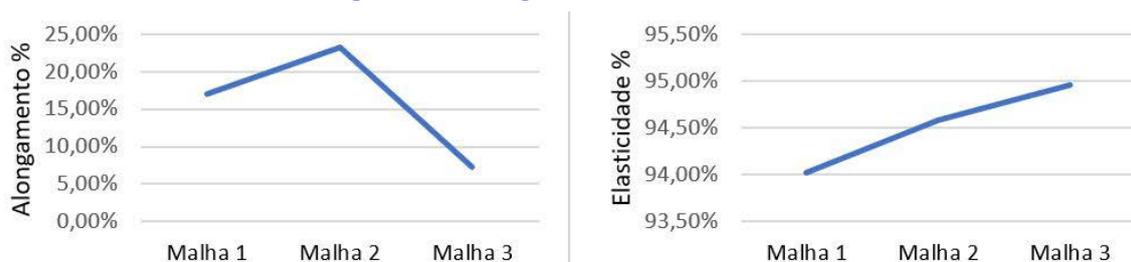
A Tabela 4 apresenta o resultado da média do Alongamento (quando submetidas à car-  
ga) e da Elasticidade (capacidade de retornar ao seu tamanho inicial, quando cessada à carga).

**Tabela 4 – Alongamento e Elasticidade das Malhas**

Identificação	Alongamento (%)	Elasticidade (%)
Malha 1	17,07	94,01
Malha 2	23,2	94,59
Malha 3	7,28	94,96

Fonte: Autores (2022)

De acordo com Vasconcelos (2012, *apud* ALFIERI, 2005), um elastano de menor título, mais fino, 20 e 40 Den, apresentam um maior alongamento em relação a um fio de título mais grosso, 70 Den, quando submetidos à uma mesma carga. Os elastanos mais finos precisam de uma tensão menor para atingir a mesma característica elástica em um determinado artigo, conforme podem ser observados os resultados apresentados na Tabela 4 e na Figura 4. É possível notar que as Malhas 1 e 2, possuem um alongamento bem maior em relação à Malha 3. Quando comparadas as Malhas 1 e 2, temos que levar em consideração também que neste caso o alongamento pode ter sido influenciado pelo fio de algodão, que é mais rígido e mais grosso que o elastano, e que neste caso as malhas que possuem menor densidade, possuem então menor comprimento de fio em uma mesma área.

**Figura 4 – Alongamento e Elasticidade**

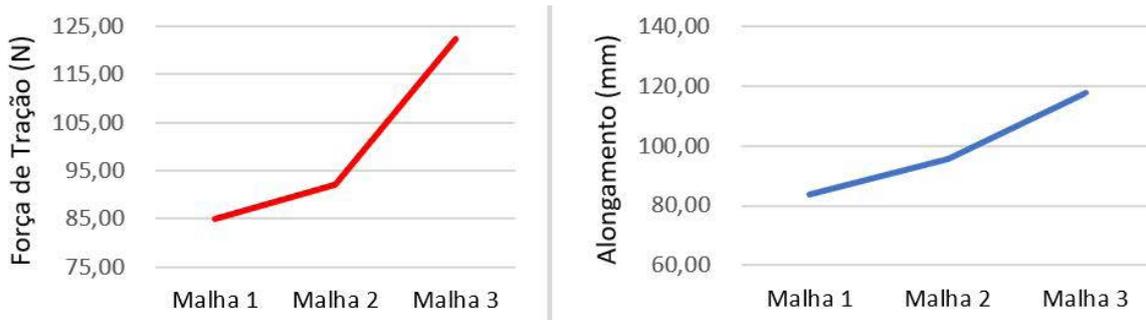
Fonte: Autores (2022)

Realizando a análise da elasticidade, que é a capacidade de retornar à sua estrutura original, após cessar a carga (Figura 4-B), observa-se uma tendência de aumento conforme o título do elastano fica mais grosso, ou seja, quanto mais grosso o título do elastano, torna-se mais evidente o retorno ao seu estado inicial quando cessada a carga. Entretanto nenhuma das malhas retornou totalmente ao seu estado inicial, ficando todas com alteração dimensional acima de 5%.

Os testes de tração foram realizados com a utilização do dinamômetro modelo WDW-300-E (Time Group), utilizando célula de carga com capacidade de 500 kgf, com velocidade de teste de 200 mm/min e medidas de força a cada 0,5N. Os resultados são apresentados nas Figuras 5 e 6.

Observando os gráficos das Malhas 1, 2 e 3 (Figuras 5 e 6) é possível perceber que a força de tração necessária para a ruptura das malhas no sentido das carreiras aumenta conforme o aumento do título do elastano. Segundo Eryuruk e Kalaoglu (2016), o aumento da proporção de elastano em um tecido de malha aumenta a resistência à ruptura, o que pode justificar o caráter crescente das forças de tração das Malhas 1, 2 e 3.

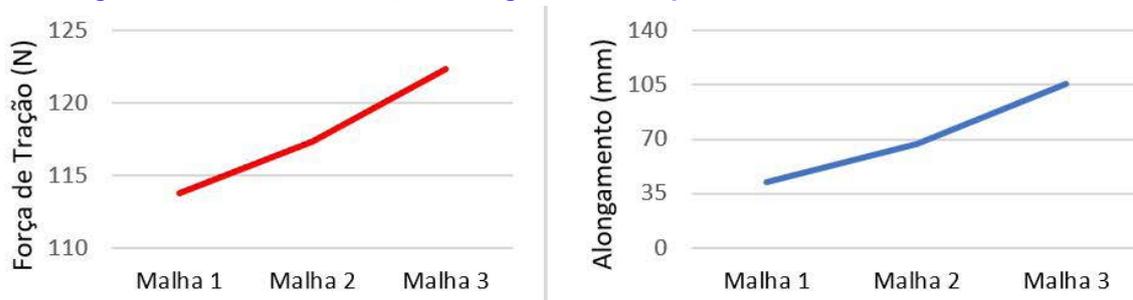
**Figura 5 - Gráficos de força e alongamento à ruptura no sentido das carreiras**



Fonte: Autores (2022)

De modo geral o alongamento das amostras das Malhas 1, 2 e 3 são crescentes de acordo com o aumento da porcentagem de elastano e de acordo com Sadek *et al.* (2012) quanto maior a porcentagem de elastano maior o alongamento à ruptura em malhas Jersey com elastano.

**Figura 6 - Gráficos de força e alongamento à ruptura no sentido das colunas**

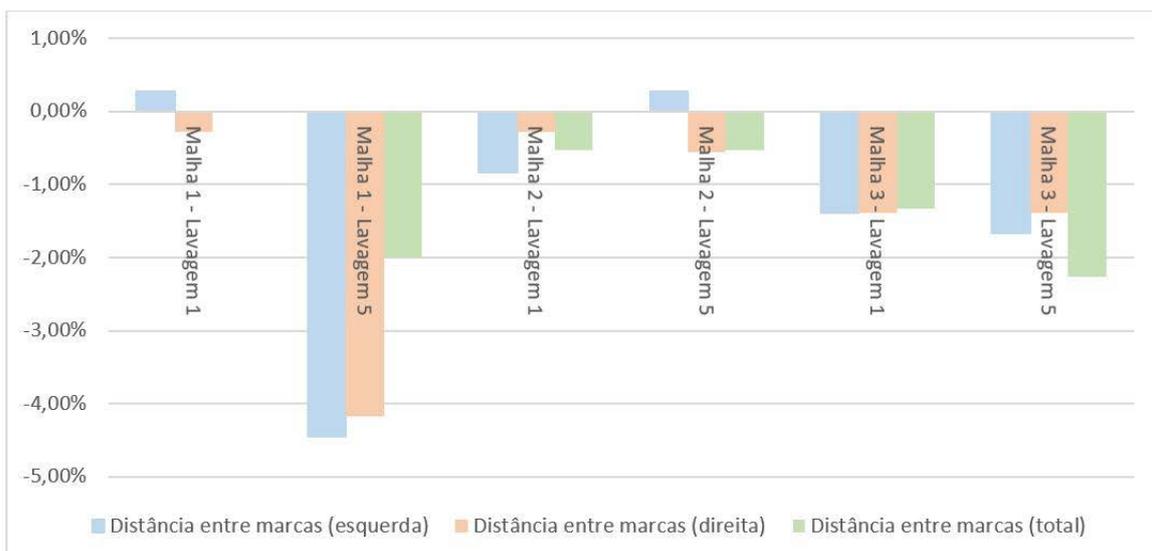


Fonte: Autores (2022)

## Alterações dimensionais

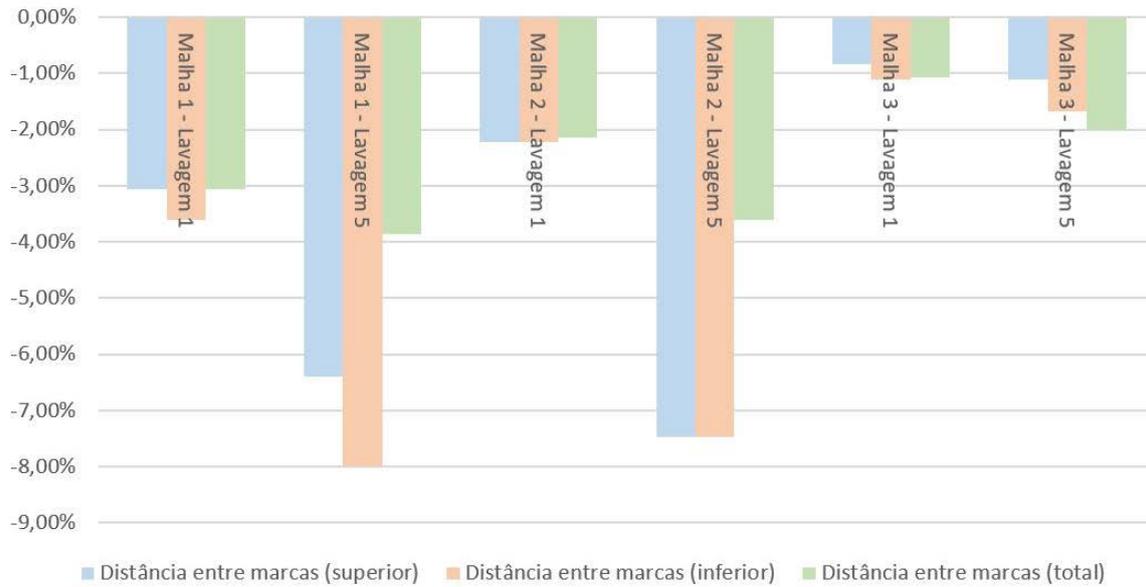
As alterações dimensionais das Malhas 1, 2 e 3 foram calculadas e seus resultados estão expressos nas Figuras 7 e 8, que mostram um gráfico para a alteração dimensional após a primeira e quinta lavagem no sentido das carreiras e no sentido das colunas.

**Figura 7 - Alteração dimensional das Malhas 1, 2 e 3 no sentido das carreiras depois da primeira e quinta lavagem**



Fonte: Autores (2022)

**Figura 8 - Alteração dimensional das Malhas 1, 2 e 3 no sentido das colunas depois da primeira e quinta lavagem**



Fonte: Autores (2022)

No estudo feito por Eryuruk e Kalaoglu (2016), os tecidos de malha Jersey com diferentes porcentagens de elastano foram analisados e para o tecido de menor quantidade de elastano a alteração dimensional é maior e para o tecido com maior porcentagem de elastano a alteração dimensional é menor. Essa tendência pode ser observada após a quinta lavagem como demonstrado nas Figuras 7 e 8, entretanto no sentido das carreiras a malha 2 apresenta uma menor alteração dimensional que as Malhas 1 e 3.

A quantidade de elastano também influencia no enrolamento das malhas, sendo que uma maior quantidade de elastano provoca um menor enrolamento nas bordas ou ourelas da mesma (ERYURUK e KALAOGLU, 2016). Isso pode ser observado nas Figuras 9 a 11, que representam as malhas 1, 2 e 3 antes do processo de lavagem e secagem, após o primeiro ensaio e após o quinto ensaio.

**Figura 9 - Malhas 1, 2 e 3 antes do processo de lavagem**



Fonte: Autores (2022)

**Figura 10 - Malhas 1, 2 e 3 após a primeira lavagem e secagem**



Fonte: Autores (2022)

**Figura 11 - Malhas 1, 2 e 3 após a quinta lavagem e secagem**



Fonte: Autores (2022)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos e testes realizados foi possível concluir que existe uma relação entre o título do elastano da malha de trama Jersey e todas as propriedades estudadas, bem como uma correlação entre elas.

Analisando os resultados dos testes percebemos que a porcentagem de elastano influencia nas três variáveis das malhas de trama investigadas, largura do tecido, gramatura e densidade. A largura do tecido de meia malha é menor quanto maior o título do elastano. A gramatura aumentou com o aumento da proporção de elastano nas malhas. A densidade também aumenta de acordo com o aumento do título, tendo um aumento mais acentuado no sentido das carreiras do que das colunas.

Também foi possível concluir que há influência do elastano nas demais propriedades, sendo que, com o aumento do título do elastano na estrutura da meia malha, obtém-se um aumento da sua estabilidade dimensional diminuindo o enrolamento nas bordas das malhas com maior porcentagem de elastano.

A elasticidade e alongamento aumentam quando a proporção de elastano na malha de trama é maior, porém em relação ao alongamento, para um elastano de título de 70 Den é necessária uma maior carga para conseguir alongamentos significativos.

A resistência à ruptura e o alongamento a ruptura também aumentaram em relação ao

aumento nos títulos dos fios da malha, com um maior alongamento no sentido das carreiras e uma maior força de ruptura no sentido das colunas.

A estabilidade dimensional se provou maior nos tecidos de malha Jersey com maior porcentagem de elastano visualmente após a primeira lavagem e secagem e visualmente e experimentalmente após o quinto ensaio.

## REFERÊNCIAS

ABDI e UNICAMP - AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Relatório de acompanhamento setorial têxtil e confecção. Volume I. ABDI e Núcleo de Economia Industrial e da Tecnologia do Instituto de Economia da Unicamp, 2008.

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. Cartilha de costurabilidade, uso e conservação de tecidos para decoração. 2 eds., Comitê de Tecidos para Decoração da ABIT, 2011.

ABIT e CNI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade. Brasília, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10320: materiais têxteis – determinação das alterações dimensionais de tecidos planos e malhas – lavagem em máquina doméstica automática – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10591: materiais têxteis – determinação da gramatura de superfícies têxteis. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12060: materiais têxteis – determinação do número de carreiras/cursos e colunas em tecidos de malha. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12960: tecido de malha – determinação da elasticidade e alongamento. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13460: tecido de malha por trama – determinação da estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 13934-1: têxteis – propriedades de tração de tecidos parte 1: determinação da força máxima e alongamento à força máxima utilizando o método de tira. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BEZERRA, F. D. Análise retrospectiva e prospectiva do setor têxtil no Brasil e no Nordeste. Informe Técnico do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, Fortaleza, 2014.

CHEREM, L. F. C. Um modelo para a predição da alteração dimensional em tecidos de malha de algodão. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ERYURUK, S. H.; KALAOGLU, F. Analysis of the performance properties of knitted fabrics containing elastane. International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 28 Issue: 4, pp.463-479, <https://>

doi.org/10.1108/IJCST-10-2015-0120, 2016.

KUASNE, A. Curso têxtil em malharia e confecção 2º módulo – fibras têxteis. Ministério da Educação - Secretaria de Educação Média e Tecnológica - Centro Federal De Educação Tecnológica de Santa Catarina – CEFET – SC, Araranguá, 2008.

NAVARRO, M. S. Análise de ensaios de lavagens em tecidos de poliéster com diferentes concentrações de sabão de uso doméstico. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade De Engenharia Química, Campinas, 2007.

PÉREZ, J. B. Manufacturing processes in the textile industry. Expert systems for fabrics production. ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal, Regular Issue, Vol. 6 N. 1, pg. 41-50, eISSN: 2255-2863 DOI: <http://dx.doi.org/10.14201/ADCAIJ2017614150>, 2017.

ROMANI, M. A influência da tensão do elastano durante o processo produtivo nas propriedades elásticas dos tecidos com elastano para fitness. Dissertação (Pós-Graduação em Têxtil e Moda) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SADEK R.; EL-HOSSINI A. M.; ELDEEB A. S.; YASSEN A. A. Effect of lycra extension percent o.n single jersey knitted fabric properties. Mansoura University, Textile Engineering Department, Mansoura, Egito, 2012

SANCHES, R. A. Procedimento para o desenvolvimento de tecidos de malha a partir de planejamento de experimentos. Tese (Doutorado em Engenharia) – Unicamp - Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2006.

SAYED, A. Properties of spandex fabrics. Site Textile Apex – A guide to Textile and Clothing. Disponível em: <https://textileapex.blogspot.com/2015/06/properties-of-spandex-fabrics.html>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SEDUC-CE (Secretaria da Educação do Governo do Estado do Ceará). Tecidos e fibras. Escola Estadual de Educação Profissional – EEEP - Ensino Médio Integrado à Educação Profissional - Curso Técnico em Modelagem do Vestuário, SEDUC-CE, [s.d.].

SENAI MIX DESIGN. Manual técnico têxtil e vestuário #01 fibras têxteis. Editora SENAI-SP, São Paulo, 2014.

SENAI MIX DESIGN. Manual técnico têxtil e vestuário #02 fios têxteis. Editora SENAI-SP, São Paulo, 2015.

VASCONCELOS, F. B. Influência dos parâmetros de regulagem de máquina nas características físicas de malhas de poliamida/elastano. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.



# Sistema de visão computacional para esteira transportadora

---

Sergio Augusto Bitencourt Petrovcic

*Professor, Doutor, Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Campus Itajaí*

Bernardo Santiago de Souza

*Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Campus Itajaí*

Vinicius Amandio dos Santos Couto

*Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Campus Itajaí*

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.13

## RESUMO

Sistemas de Visão, também chamados de sistema de visão computacional ou vídeo inspeção, são sistemas utilizados para automatização de processos no controle de qualidade, bem como contagem e classificação de produtos em linhas de produção de uma fábrica. Com o intuito de simular o ambiente industrial, este trabalho desenvolve um protótipo de esteira transportadora automatizada, que equipada com um sistema de visão, fará a contagem e classificação de produtos reais. O sistema de visão concebido é composto por dois algoritmos de visão computacional desenvolvidos com a biblioteca de programação OpenCV, de processamento de imagens e vídeos, na linguagem Python. O primeiro algoritmo desenvolvido é de contagem por cor, onde são utilizados os métodos de limiarização de cores de produtos, por meio de máscaras para cada cor de produto. A segunda aplicação tem como objetivo a contagem e inspeção de área das peças, desenvolvidas a partir de algoritmos de remoção de fundo e detecção de contornos, a área depois é convertida para uma unidade real e classificada em parâmetros qualitativos de tamanho de objetos. Ambos algoritmos utilizam de princípios de rastreamento de objetos, para que o mesmo objeto não seja contado duas vezes enquanto passam pela esteira transportadora.

**Palavras-chave:** automação industrial. OpenCV. sistemas de visão. visão computacional.

## INTRODUÇÃO

A procura por métodos de automatização de processos e sensoriamento possuem destaque na atualidade, devido à crescente demanda de produção e qualidade dos produtos. Por esta razão, associada também ao desenvolvimento tecnológico, a estratégia de utilizar de processamento de imagens e vídeos para obter resultados em tempo real tornou-se tecnologicamente acessível, dando origem aos sistemas de visão.

Os sistemas de visão são um ramo aplicado da visão computacional, que consiste em sistemas que se utilizam de imagens, para realizar a automatização de algum processo. Usualmente .

Encontrados no setor de controle de qualidade, é composto por uma câmera que realiza a conversão da imagem para dados multidimensionais processados pelos computadores.

Apesar de já serem comercializadas diversas soluções de sistemas de visão, estas podem apresentar um custo elevado, por conta da subutilização das configurações dos equipamentos. Ou seja, aplicações que não precisam de sensores com grandes resoluções e taxa de quadros, tornam-se inviáveis, pela falta de personalização do equipamento à aplicação.

A biblioteca de processamento de imagens e vídeo OpenCV, é uma alternativa gratuita tanto para utilização educacional quanto industrial. Entre as suas aplicações mais usuais estão a detecção de cores, contornos e movimento, tanto quanto reconhecimento facial, de gestos e objetos.

O presente trabalho desenvolverá um protótipo de uma esteira transportadora rolante, a qual possuirá uma câmera instalada em um suporte acima da esteira. Essa câmera irá capturar imagens em tempo real que serão processadas, e com o uso da biblioteca OpenCV, um algoritmo de contagem por cor e detecção de tamanho será desenvolvida.

## METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento do presente trabalho está dividida em três etapas distintas. A primeira refere-se a montagem da estrutura física da esteira transportadora, a segunda etapa, o ajuste de atuadores, sensores e programação do microcontrolador e a terceira remete-se à programação dos algoritmos do sistema de visão computacional.

Nas subseções a seguir, serão expostas as premissas utilizadas para a construção da estrutura física do protótipo, o posicionamento e ajuste dos sensores e atuadores e o funcionamento do algoritmo de visão computacional dentro de um ensaio de testes.

## MONTAGEM DA ESTRUTURA DA ESTEIRA TRANSPORTADORA

Conforme Soans *et al.* (2018) uma esteira transportadora é o meio de transporte de produtos, que consiste de dois ou mais roletes unidos por uma malha, onde um rolete atuador é acoplado a um motor com mecanismos de redução, para a rotacionar a esteira transportadora.

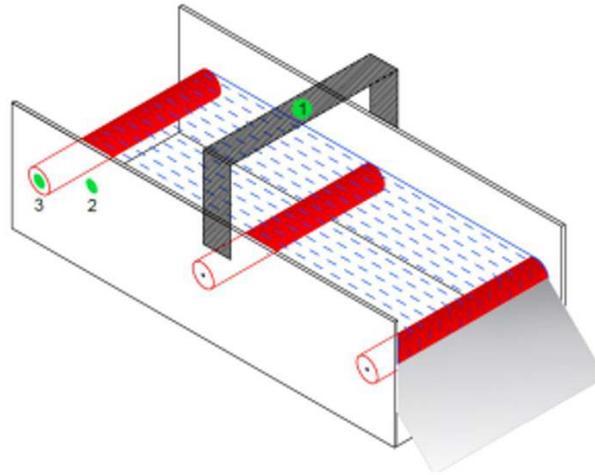
Para a etapa de montagem da estrutura, a construção da estrutura será feita por meio de estrutura de perfilados, o que permite a modularidade do protótipo. A esteira é composta por cinco roletes, igualmente espaçados entre si, onde quatro foram adquiridos por fornecedor externo e um confeccionado, para devida personalização do acoplamento com os atuadores. Nesta etapa também, é previsto a concepção de uma malha transportadora, ao qual envolverá os roletes e irá rotacionar, conforme o acionamento dos atuadores.

Outro aspecto importante do protótipo é a malha transportadora, considerando que a interação dela com os roletes é o que dará a movimentação dos objetos, servindo de fundo para as indicações do sistema de visão. Conforme Soans *et al.* (2017) superfícies reflexivas de plano de fundo, podem levar a detecções incorretas de objetos, ao utilizar as técnicas de limiarização de cor, por isso, foram estipulados os seguintes requisitos para a melhor interação com a câmera:

1. A malha deve ser de uma cor que ofereça contraste aos objetos analisados; 2) deve cobrir o máximo possível do campo de visão da câmera;
2. Deve ser de material o mais opaco possível;
3. Deve se manter estável durante toda a movimentação da esteira; não deve dobrar, comprimir ou se encurtar no plano da imagem da câmera.

A Figura 1 representa o projeto conceitual por trás do desenvolvimento do protótipo, com a estrutura e automação da esteira transportadora com os pontos para inserção de sensores e atuadores. Assim como Encarnação *et al.* (2016), foi desenvolvido um suporte para comportar a câmera, fixado no início da esteira, para que o objeto seja identificado ao iniciar o processo.

**Figura 1 - Projeto conceitual da estrutura da esteira transportadora e posicionamento de sensores e atuadores, com câmera (1), sensor ultrassônico (2) e motor CC. (3)**



Fonte: Autores

## AJUSTE DA AUTOMAÇÃO

A segunda etapa de desenvolvimento do projeto remete-se ao ajuste da lógica de automação da esteira, dos pontos de sensoriamento e do acionamento dos atuadores a serem inseridos na estrutura. Entre os atuadores serão utilizados dois motores CC com redução no eixo, para acoplar no rolete confeccionado. Entre os sensores será utilizado um sensor ultrassônico e uma câmera *webcam* centralizada em um suporte acima da esteira.

Nesta etapa é prevista uma lógica de automação, responsável por acionar a esteira apenas quando as peças forem inseridas no início da esteira. Para isso, o sensor ultrassônico, posicionado no início da esteira, irá disparar um gatilho de tempo de acionamento dos motores da esteira ao detectar uma peça dentro do limite medido. O tempo de acionamento, considerado mais que o suficiente para a passagem das peças, é restaurado cada vez que uma nova peça é detectada pelo sensor ultrassônico, de forma a interromper o funcionamento da esteira após a passagem da última peça.

## ALGORITMO DE VISÃO COMPUTACIONAL

A última etapa do projeto está relacionada a programação do algoritmo de visão computacional, utilizando a biblioteca de processamento de imagens e vídeos *OpenCV*, onde serão construídos pelo menos dois códigos de programação. O primeiro algoritmo realiza a contagem de peças por cor, e um segundo, realiza a medição da área das peças.

Os algoritmos serão escritos na linguagem de programação *Python*, no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) *PyCharm*. Entre as bibliotecas de programação auxiliares, serão utilizadas as bibliotecas *NumPy* e *Math*, a primeira sendo para a operação com dados multidimensionais e a segunda para auxiliar em operações aritméticas.

## ROTINA DE ENSAIO

Primeiramente, é necessário entender sob qual rotina de ensaio o protótipo será testado para a construção da lógica de processamento de imagens e vídeos

Na rotina de teste do código de contagem por cor, as peças serão produtos reais, que possuem cores distintas em sua composição. Essas peças serão inseridas na esteira e conforme a esteira transporta os objetos para o campo de visão da câmera, a detecção da cor e a contagem de peças por cor serão indicados na janela da supervisão.

Os produtos escolhidos como objetos de teste foram da marca Chá Prenda, uma marca de chás, onde a caixa de cada sabor possui uma cor distinta. As caixas possuem as cores azul (boldo), vermelho (maçã), amarelo (camomila) e verde (cidreira).

Na rotina de teste do código de contagem com separação por tamanho, as peças serão produtos reais e de tamanhos diferentes, divididas em peças médias e pequenas. Conforme a esteira movimentada os objetos para o campo de visão da câmera, a área medida dos objetos (em termos qualitativos) e contagem de peças por tamanhos serão indicadas na janela de supervisão.

Na janela de supervisão, conterà a gravação em tempo real da câmera posicionada no suporte, junto com a contagem e o rastreamento das peças.

## LÓGICA DO ALGORITMO DE CONTAGEM POR COR

No algoritmo de contagem por cor, se utilizam de técnicas de realce de cor, que conforme Pedrini e Schwartz (2007), são técnicas necessárias, quando houverem a decorrência da perda de qualidade da imagem, com barramentos, perda de contraste ou distorções ou da introdução de ruídos. Condições estas comuns, quando se utilizam de dispositivos de aquisição de baixa qualidade, ou até mesmo quando o ambiente de funcionamento não é preparado adequadamente.

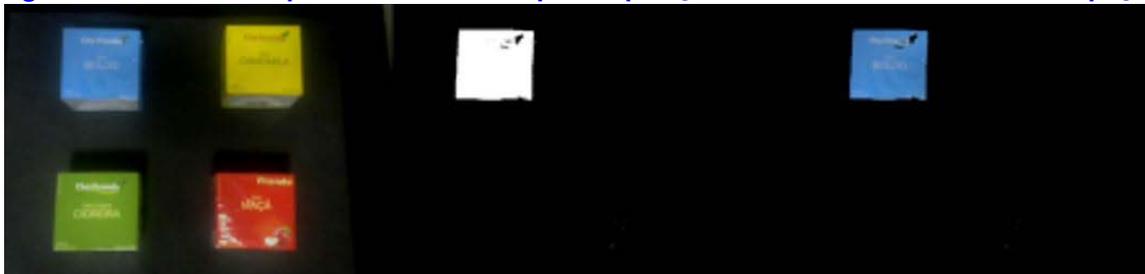
Dentre as técnicas de realce, estão a utilização de máscaras de cores, onde procura-se delimitar uma faixa de cor a qual você quer filtrar do restante da imagem de entrada. A imagem de saída do filtro de cor, deve ser apenas a faixa de cor desejada, que no caso será a cor das caixas.

Com a faixa de cor desejada na saída do filtro de cor, realiza-se a conversão de escala de cor (seja ela em HSV ou RGB), para a escala em cinza e aplica-se a limites na intensidade para a conversão da imagem em escala cinza para uma imagem binária (preto e branco). Esses limites de intensidade, apenas delimitam a partir de qual intensidade de cor cinza, será considerado como nível lógico alto (1) e qual ficará como nível lógico baixo (0).

Assim, com a imagem binária, utiliza-se de técnicas de contornos, para encontrar as coordenadas dos contornos de cada conjunto de dados com nível lógico alto. Com as coordenadas dos contornos dos conjuntos, calcula-se a área de cada conjunto encontrado na imagem binária. A utilização de uma área mínima para a contagem, tem como finalidade filtrar qualquer ruído que adentrem na faixa de cor, visto que os ruídos geralmente não possuem uma área significativa, e tendem a ser espalhados pela imagem de saída.

Apesar de ser possível construir as máscaras a partir de imagens, para uma análise mais fidedigna com o protótipo, o método utilizado para a criação das máscaras foi por meio de uma janela de supervisão com controles deslizantes (sliders), como posto por Vergutz e Gonçalves (2014). O que serve para limitar as cores, e em tempo real, ver a saída do filtro de cor. A Figura 2 e 3, exemplificam o ensaio realizado para aquisição do limite de cor em HSV.

**Figura 2 - Janela de supervisão do ensaio para aquisição de limites de cores de cada peça.**



Fonte: Autor.

**Figura 3 - Controles deslizantes para limitação de cores da imagem.**



Fonte: Autores

Logo, com o ensaio repetindo o procedimento para as outras três peças, basta apenas substituir os valores, no código de mascaramento da imagem para a detecção das imagens.

Vale mencionar que a limiarização de cores sozinha, conforme Soans *et al.* (2017), não é suficiente para detectar um objeto, pois haverá detecções indesejadas devido ao excesso de iluminação. Por isso, na realização dos ensaios, é necessário montar um ambiente com condições de iluminação que garanta que esses limites se mantenham funcionais durante a passagem dos objetos. Neste caso, utilizou-se a própria malha da esteira para obtenção dos limites de cor, bem como técnicas de .

Apesar da detecção das cores obter a cor do objeto que está na imagem, para a realizar a contagem das instâncias de peças que passam pelo plano imagem, é necessária uma lógica de rastreamento das peças. Qualquer tentativa de contagem, sem a aplicação de um algoritmo de rastreamento de peças, será afetada pela marca temporal do tempo em que o objeto esteve na imagem.

Dentro da lógica de rastreamento desenvolvida para identificar cada instância de objeto que aparece no plano imagem com número sequencial, utiliza-se da quantidade de quadros por segundo do vídeo para rastrear os movimentos de um mesmo objeto entre dois quadros. Caso o salto realizado pelo objeto seja menor que um limite ajustado, trata-se do mesmo objeto se movendo. A lógica de rastreamento, unido a detecção de cores, adiciona a possibilidade de realizar a contagem a partir da detecção de cor de objetos rastreados.

## LÓGICA DO ALGORITMO DE CONTAGEM E INSPEÇÃO DE ÁREAS

Analogamente à detecção de cores, o processo de contagem genérico também se utiliza dos conceitos de máscara e rastreamento. Porém, difere-se conceitualmente de que, na detecção de cores, admite-se que o objeto de teste possui cores destacáveis e diferentes, no caso de um algoritmo de contagem padrão, este deve detectar todos os objetos, sem que o plano de fundo atrapalhe nas indicações.

Para isto, o utilizar-se um o algoritmo de removedor de plano de fundo (background remove) baseado na movimentação de objetos. Apesar da esteira estar constantemente em movimento, caso o fundo for escuro o suficiente, não será possível identificar movimentos da malha abaixo do objeto. Esse algoritmo é uma alternativa ótima para filtrar partes que vão permanecer imóveis durante a contagem, e o restante de ruídos que permanecerem podem ser filtrados por meio de filtros de cores e limites mínimos de área.

As medidas de área são obtidas a partir de uma aproximação quadrilátera dos contornos dos objetos capturados. No caso de um círculo, é utilizado o diâmetro como lado do quadrilátero, para cálculo de área.

Considerando a existência de distorções nas imagens da câmera, tanto causadas pela distância do objeto à câmera, quanto pela perspectiva dos objetos no plano imagem. Utilizou-se de parâmetros qualitativos para a medição de área, visto que seria extremamente complexo delimitar uma faixa de incerteza para as indicações quantitativas de área. Logo, foram admitidos como “G” quaisquer objetos que tenham mais de 8000 mm<sup>2</sup>, “M” para quaisquer objetos entre 8000 mm<sup>2</sup> e 1000 mm<sup>2</sup> de área, e por fim, “P” para objetos abaixo de 1000 mm<sup>2</sup> de área. O Quadro 1, classifica os objetos utilizados para testar a inspeção de área.

**Quadro 1 - Objetos utilizados no ensaio de inspeção de área**

Objeto	Área (mm <sup>2</sup> ) Classificação
Caixa	5625 “M”
Moeda	484 “P”

Fonte: Autores

A aquisição das áreas de objetos, feitas pelo OpenCV, têm como dimensão os números de pixel ocupados pelo objeto no plano imagem, logo, cada pixel representa uma quantidade de área do objeto. Assim, como a câmera não foi posicionada diretamente acima do objeto, a perspectiva causará distorção na leitura de um objeto que estiver passando pela esteira. Foram medidas as áreas de um objeto de 2500 mm<sup>2</sup> (5x5 cm) em três pontos monitorados pela câmera na esteira, como consta nas figuras 4, 5 e 6.

**Figura 4, 5 e 6 - Objeto de 2500 mm<sup>2</sup> medidos em 3 pontos diferentes na esteira.**



Fonte: Autores

Com uma média entre as três indicações de 41213.5 de área em pixels, obtém-se 16.85 como constante para a conversão dimensional, utilizada após a indicação da área no código para compor o processo decisório de categorias de tamanho de objetos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

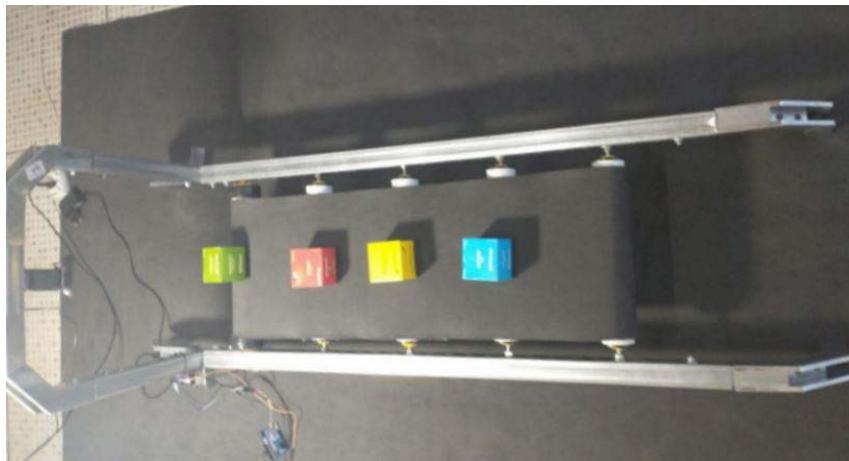
### Estrutura da esteira transportadora

A estrutura da esteira transportadora (Figura 7) foi construída a partir de perfilados de 38x38 mm, chapas de aço utilizadas para fixação de cabos, a base para suporte e pés foram feitos a partir de emendas e curvas, a fixação foi feita por meio de parafusos e porcas M8,

No desenvolvimento da malha da esteira, acreditava-se que a melhor alternativa era uma malha com elastano preta, porém, acabou trazendo esforços adicionais para os motores CC. Estes esforços impediam seu ideal funcionamento, e caso ajustado para menos tenso, a falta de tensão ocasionava dobras na malha, desrespeitando os itens 2 e 4, dos requisitos da malha da esteira. Para o protótipo final, a malha com elastano foi substituída por uma malha de EVA preta, que apesar de não respeitar bem o item 3 (sobre a opacidade do material), esta oferece a estabilidade suficiente para o protótipo.

Para a fixação do rolete utilizado como atuador, foi utilizado um cano PVC, acoplado ao motor CC por meio de rodas utilizadas como acoplamento do eixo do motor.

**Figura 7 - Estrutura do protótipo da esteira transportadora**



Fonte: Autores

## AUTOMAÇÃO

Após a instalação dos componentes da estrutura de automação, representados nas figuras 8, 9 e 10, foram realizados os devidos ajustes na programação do sensor ultrassônico e do driver de acionamento. O sensor ultrassônico foi ajustado para detectar objetos até 30 cm de distância, e a velocidade foi ajustada para a máxima.

A velocidade máxima obtida da esteira transportadora observada foi de 0,4 m/s (1,44 Km/h), sem carga. A velocidade progressivamente diminui com a carga, com uma redução drástica de velocidade com objetos de mais de 500 gramas.

**Figura 8, 9 e 10 - Componentes da estrutura de automação. A esquerda o driver de acionamento dos motores, no centro, os motores e na direita, o sensor ultrassônico.**



Fonte: Autores.

## SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL

Na realização dos ensaios de testes para o sistema de visão computacional, é necessário garantir a repetibilidade das indicações de cor, por meio de uma condição de iluminação ambiente similar ao que ocorria no momento do ajuste dos limites de cor. Conforme Neto (2020), se a intensidade da luz é muito alta, os objetos podem refletir a tonalidade branca e sair dos limites de cor, o que leva a não identificação da cor do objeto. Para isto, o ensaio final foi feito com a configuração representada na figura 11.

**Figura 11 - Montagem do ensaio final de teste.**



Fonte: Autores

## ENSAIO DO ALGORITMO DE CONTAGEM POR COR

Para o ensaio do algoritmo de contagem por cor, foram fixados os quatro produtos na esteira, de forma que durante o teste, a mesma sequência de cores fosse continuamente medida pela janela de supervisão, caso houvesse uma assimetria na contagem de cores, indicaria que houve um erro de contagem.

Na janela de supervisão do sistema de visão na aplicação de contagem por cor, representada pela figura 12, constam as indicações de contagem de objetos.

**Figura 12 - Janela de supervisão da aplicação de contagem por cor.**



Fonte: Autores

Durante a execução do ensaio, foram contados 60 produtos, 15 de cada cor, não havendo erros de contagem durante o período de ensaio. Como visto na figura 12, houve uma simetria nos números contados, por conta da fixação dos produtos, essa mesma simetria pode ser vista na Figura 13, com o final do teste. Tal resultado só é possível por conta da iluminação controlada do ambiente.

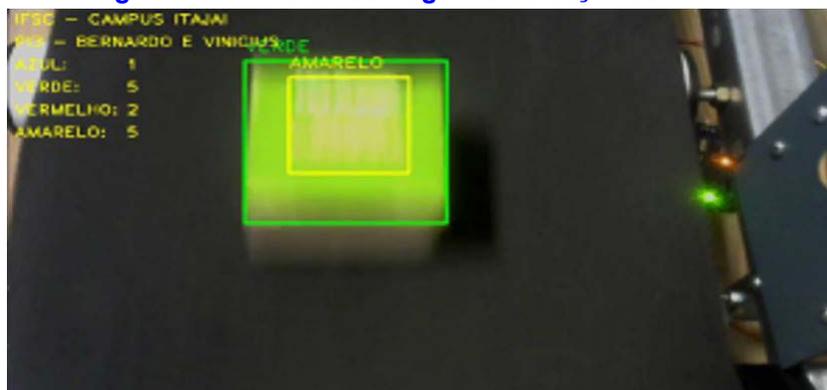
**Figura 13 - Janela de supervisão da aplicação de contagem por cor.**



Fonte: Autores

Para efeito de comparação, o mesmo ensaio foi realizado sem as condições ideais de iluminação. Neste caso, além das contagens divergirem, cores diferentes foram simultaneamente identificadas no mesmo objeto, como na Figura 14, devido ao reflexo da iluminação e o desfoque da câmera.

**Figura 14 - Erros de contagem e detecção de cores.**



Fonte: Autores

## ENSAIO DO ALGORITMO DE CONTAGEM E INSPEÇÃO DE ÁREA

Diferente do algoritmo de contagem por cor, o código de contagem e inspeção de área não depende das cores dos produtos, mas sim do contraste destes com a malha. Por este motivo, na preparação do ensaio de testes, a iluminação foi ajustada para que a malha não apareça na janela de supervisão.

No ensaio deste do algoritmo foram contados 32 objetos, como representado na Figura 15, de 2 tipos diferentes de classificação de tamanho. Durante o teste, não foram observados erros de contagem de objetos, porém, perceberam-se algumas inconsistências quanto à classificação de área.

**Figura 15 - Final do Ensaio do algoritmo de contagem e inspeção de área.**



Fonte: Autores

O erro de classificação ocorre quando a caixa está na parte inferior da imagem, onde ela é equivocadamente classificada como "G", para que isto aconteça, significa que a área processada pelo código foi acima de 8000 mm<sup>2</sup>, em relação aos 5625 mm<sup>2</sup> do tamanho da área física da caixa. A classificação é corrigida para "M" assim que o objeto chega ao meio, como pode ser visto na Figura 15. Não foram observados erros de classificação com a moeda.

**Figura 16 - Erros de contagem e detecção de cores.**



Fonte: Autores

Entre as possibilidades elencadas que poderiam aumentar as incertezas e erros sistemáticos das indicações dessa aplicação está a inclinação da câmera, não paralela ao plano da esteira, bem como a diferença de tamanho do objeto de 2500 mm<sup>2</sup> utilizado no ajuste da correção, para a caixa utilizada no teste.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu duas aplicações de sistemas de visão aplicadas a um protótipo de esteira transportadora com princípios de acionamento industriais, simulando uma rotina básica de funcionamento. Com esse objetivo, a aplicação do sensoriamento e dos atuadores, causaram a dinâmica necessária para testar as não idealidades dos equipamentos de captura, e as ferramentas de OpenCV para atenuar seus impactos nas indicações do sistema.

O algoritmo de contagem de cor, desenvolvido com a biblioteca OpenCV, apresentou resultados satisfatórios aos objetivos iniciais. Porém, isto só foi possível por conta do ajuste das condições de iluminação do ambiente, tanto na hora da obtenção dos limites de cores de cada produto, como na hora de realizar os testes finais.

Já na implementação do código de contagem e inspeção de área, basta alguns ajustes básicos de iluminação que aumentem o contraste do objeto com os produtos para que a contagem se torne precisa. A partir disso, o foco torna-se em obter as correções necessárias de unidades em pixel para unidades físicas. Mesmo utilizando parâmetros qualitativos, a correção realizada por apenas uma constante apresentou grandes distorções (na ordem de 40%) da área indicada, principalmente por conta de uma inclinação da câmera, em relação ao plano da esteira e da diferença de altura do objeto de ajuste e da caixa.

O comportamento de ambos os algoritmos, no geral, depende de condições específicas de iluminação e perspectiva da câmera, para que suas indicações adquiram uma repetibilidade adequada para todos os tipos de ambientes. Por este motivo, sugere-se o desenvolvimento de ferramentas que corrijam os limites de cor conforme diferentes condições de iluminação, bem como ferramentas que corrijam o coeficiente de conversão de área, para objetos de diferentes alturas.

## REFERÊNCIAS

NETO, E. P. F. Visão computacional para identificação de cores em tempo real com OpenCV e Python. Trabalho de Conclusão de Curso, UniCEUB, Brasília, 2020.

ENCARNAÇÃO, O. C. S. *et al.* Controle para seleção de objetos aplicado a um protótipo de manufatura robotizada. Mostra Nacional de Robótica, IFBA, Bahia, 2016.

VERGUTZ, T. GONÇALVEZ, R. S. Desenvolvimento e implementação do sistema de visão de um robô humanoide. ABCM Symposium Series in Mechatronics - Vol. 6. UFU, Uberlândia, 2014.

SOANS, R. V. *et al.* Object Tracking Robot using Adaptive Color Thresholding. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9012110>>. Acesso em: 22 fev 2022.

SOANS, R. V. *et al.* Object Sorting using Image Processing. 2018. Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8321192>>. Acesso em: 01 mar 2022.

PEDRINI, H; SCHWARTZ. W. Análise de imagens digitais: princípios, algoritmos e aplicações. São Paulo: Cengage, p.121-167, 2008.



# Protótipo de braço hidráulico demonstração do princípio de Pascal

---

Euler da Silva Bernardes

*Graduando no curso de Engenharia Civil (UniRedentor)*

Gabriel Ferreira da Silva Pascoal

*Graduando no curso de Engenharia Civil (UniRedentor)*

Thiago de Freitas Pimenta

*Graduando no curso de Engenharia Civil (UniRedentor)*

Gabriel Pereira Gonçalves

*Professor Mestre do curso de Engenharia Civil (UniRedentor)*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.128.14

## RESUMO

A finalidade do projeto é mostrar ao leitor o desenvolvimento de um protótipo, de forma que pode ser aplicado em diversas áreas da graduação, no ramo educacional. Baseando-se no Princípio de Pascal, foi elaborado um protótipo de um braço hidráulico através de um projeto simples, robusto e de fácil montagem, buscando realizar cálculos sobre seus apoios e seu dimensionamento. A idealização de um projeto de fácil montagem proporcionará, no âmbito acadêmico, uma referência consistente na elaboração deste tipo de Metodologia Ativa amplamente utilizada nas disciplinas que estudam a Teoria de Pascal, já no meio laboral, a capacidade de transferência de cargas ajuda na produtividade e saúde dos trabalhadores.

**Palavras-chave:** princípio de Pascal. braço hidráulico. educacional.

## INTRODUÇÃO

A aplicação da Metodologia Ativa nos meios de Ensino tem uma concepção de educação crítico-reflexiva com base em estímulo no processo ensino-aprendizagem, resultando em envolvimento por parte do educando na busca pelo conhecimento.

O trabalho que foi desenvolvido baseia-se em um protótipo de um braço hidráulico, de forma que pode ser aplicado em diversas áreas da graduação, seja em Física (Teorema de pascal, elasticidade), Mecânica (Esforços Externos, reações de apoio), Sistemas Isostáticos e Hiperestáticos, hidráulica entre outras.

Após um estudo na revisão bibliográfica, observa-se que para obter o controle do braço utiliza-se o Princípio de pascal: “O acréscimo de pressão produzido num líquido em equilíbrio transmite-se integralmente a todos os pontos do líquido”. O conhecimento em elasticidade e mecânica, somatório de forças, contribuirá para a estabilidade do mecanismo. O resultado é a procura um protótipo robusto de fácil montagem e com materiais simples. (PUCCI, 2009)

O emprego prático pode ser compreendido em locais de difícil ergonomia ou que necessitem de transferência de cargas. A não utilização de eletricidade ou componentes elétricos o torna ideal para utilização em locais tóxicos, radioativos, de baixa ou altas temperaturas/pressão, enfim, uma grande gama de utilização e aprendizagem.

O objetivo do trabalho é desenvolver um protótipo educacional de um braço hidráulico através de um projeto simples, robusto e de fácil montagem, apresentar os cálculos e dimensionamentos, na ajuda da compreensão das disciplinas, principalmente a “Teoria de Pascal”.

### Objetivo específico

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Revisar os conceitos de física, mecânica geral, isostática e hidráulica para elaboração do protótipo;
- Projetar o protótipo do braço mecânico em software de desenho (Autcad);
- Executar o protótipo conforme projeto básico;

- Equipar o protótipo com articulações para demonstração de amplos movimentos;

## Metodologia

Para a elaboração do projeto, realizou-se pesquisas em artigos científicos de fontes confiáveis, através destas pesquisas foram utilizados alguns métodos na execução do protótipo e na realização de seus cálculos. Separamos por etapas o projeto a ser executado, na primeira etapa foi realizado um cronograma, para estipular prazos a serem cumpridos pela equipe. Na segunda etapa foi discutido onde se encacharia melhor o protótipo a ser estudado no ramo educacional. A terceira etapa foi deixar o protótipo o mais claro possível para o seu entendimento. Quarta e última etapa, montar o protótipo de acordo com o projeto feito e testar para fins de uso.

## Revisão bibliográfica

Desde 4000 a 3000 a.C. há fragmentos da hidráulica em vários países da Ásia, Oriente Médio e Europa, todavia não houvesse estudos relacionados à hidráulica, que por sua vez começaram entre o século III a.C. (ABIMAQ, 2006)

A hidráulica tem dois grandes precursores na história mundial, como Blaise Pascal e Arquimedes.

A hidráulica é essencial em diversas áreas, e usada de diferentes formas, como nas montadoras de automóveis, elas utilizam os braços robóticos, que são manejados por automação robótica, que exercem movimentos articulados como um braço hidráulico. O referido projeto baseia-se na mesma ideia, tendo como objetivo a movimentação de objetos pesados, sendo diferido apenas no modo de comando, na qual utiliza-se a hidráulica como forma de manuseio. (KATO, 2015)

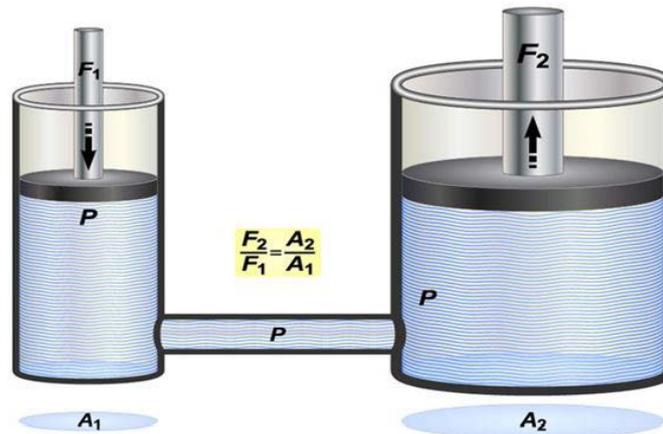
Na atualidade existe uma busca constante pela eficiência e produtividade entre as empresas, buscando sempre a inovação por tecnologias em desenvolver produtos mais eficientes. Com esta necessidade de busca por novas tecnologias no ramo das indústrias, um dos itens requisitados foram os braços hidráulicos, pois podem ser utilizados em diversas áreas, com o intuito de reduzir o tempo de execução e o aumento da produtividade.

## Princípio de Pascal

Blaise Pascal (1623-1662) foi um dos maiores físicos da França, que em seus estudos realizados, conseguiu desenvolver um dos mais importantes princípios físicos sobre a hidráulica. O Princípio de Pascal fala que: O acréscimo de uma pressão produzido num líquido em equilíbrio, é transmitida em todos os pontos do líquido. (PUCCI, 2009)

A prensa hidráulica é um exemplo desse princípio em que a força (Newton) aplicada a um cilindro é proporcional a sua área, uma força ( $F_1$ ) maior exercida sobre o cilindro ( $A_1$ ) a força ( $F_2$ ) fica proporcional a área, fazendo com que o líquido fique pressionado no outro êmbolo ( $A_2$ ). A figura 1 representa esse princípio de Pascal:

**Figura 1- Modelo de Prensa Hidráulica**



Fonte: (BRASIL ESCOLA, 2019)

O Teorema de Pascal relata que a variação da pressão será igual em todos os pontos:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2$$

$$F_1/A_1 = F_2/A_2$$

Fazendo-se uma multiplicação cruzada do termo anterior, obteremos a seguinte equação:

$$F_2 \times A_1 = F_1 \times A_2$$

Isolando-se a força  $F_2$  na equação, temos que:

$$F_2 = F_1 \times (A_2/A_1)$$

Deste modo, pode-se observar que a força de entrada é inversamente proporcional a sua área de saída do êmbolo da prensa hidráulica.

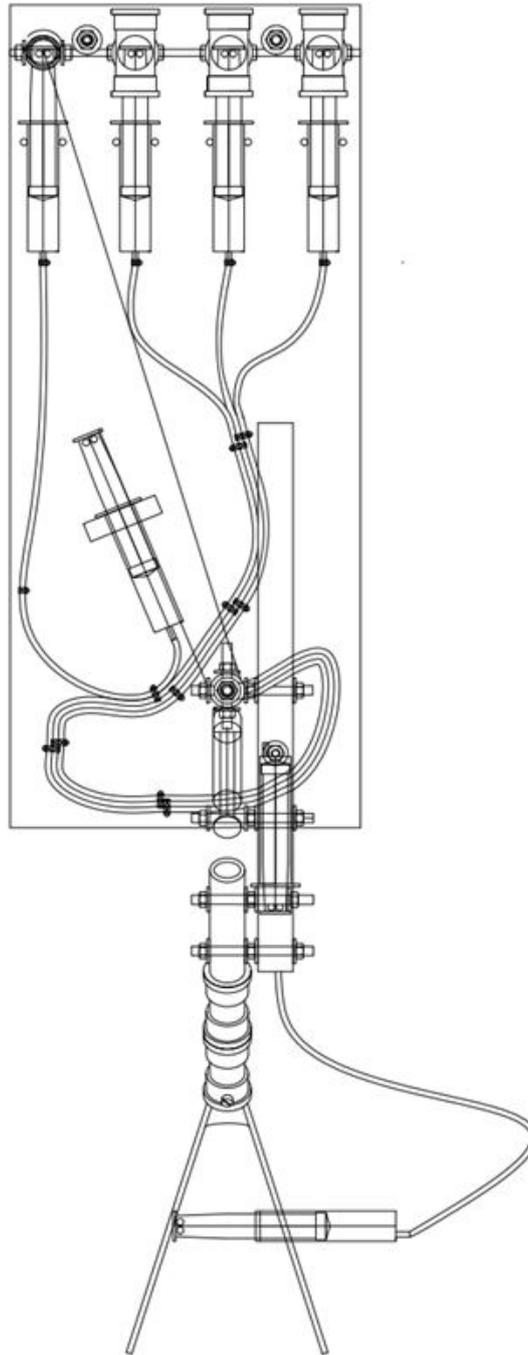
## PLANEJAMENTO DO PROJETO

A partir deste assunto, serão mostrados os passos fundamentais para o desenvolvimento do protótipo do braço hidráulico.

### Projeto do protótipo

O projeto foi realizado no software AutoCad 2D versão 2019, onde pode-se ter uma visão mais ampla e significativa, com o intuito de que o leitor possa analisar cada componente que compõe a sua estrutura.

**Figura 2- Desenho do protótipo no AutoCad**



**Fonte: Os próprios autores.**

## **Materiais e métodos**

Para a construção do protótipo, adquiriram-se alguns materiais para a sua idealização. O quadro abaixo representa a relação dos materiais utilizados e sua quantidade.

**Quadro 1 – Materiais utilizados e sua quantidade**

Material	Quantidade
Cano PVC 2,5cm x 3 mm	2 metros
Barra Rosqueada 3/4	6 cm
Barra Rosqueada 5/16	1 metro
Porca Sextavada 3/4	4
Porca Sextavada 5/16	30
Arruela 3/4	4
Arruela 5/16	30
Conexão PVC em T 2,5cm x 3mm	2 metros
Seringa de 20 ml	8
Canopla de soro $\varnothing$ 4mm	3 metros
Presilha de Canopla Simples	6
Presilha de Canopla Dupla	5
Pegador de “Macarrão Siliconado”	1
Abraçadeira de Plástico 20cm	50 un

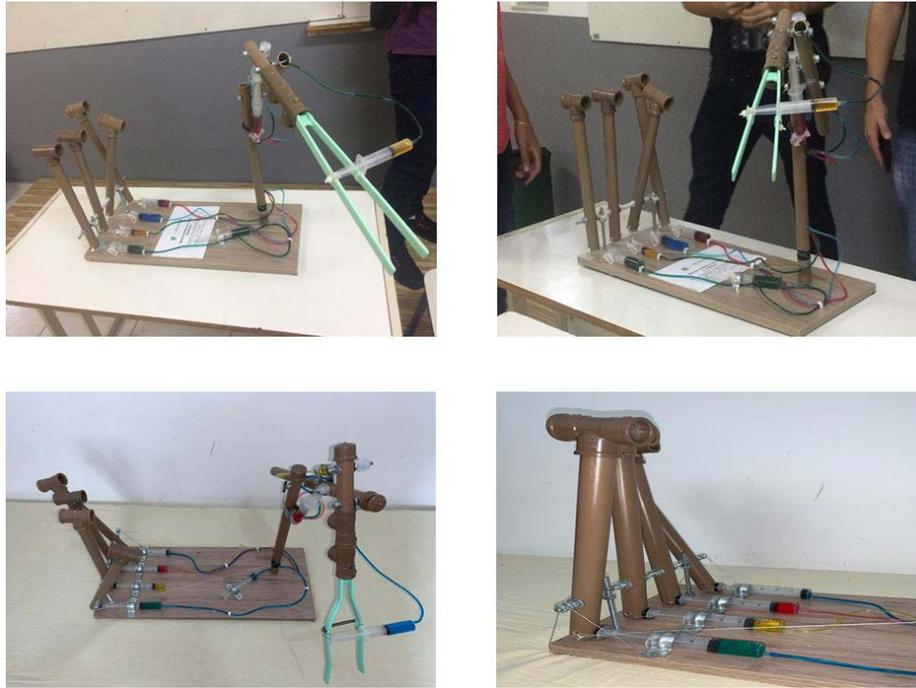
**Fonte: Os próprios autores.**

## RESULTADOS OBTIDOS

O projeto elaborado obteve quatro movimentos, foram eles de rotação, movimentos nas articulações para cima e para baixo, e a garra de abrir e fechar. Esses movimentos obtidos foram com bastante agilidade e mobilidade na execução dos comandos.

Fotos do protótipo pronto:

**Figura 3,4,5,6 e 7- Protótipo Construído.**



**Fonte: Os próprios autores.**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao finalizar o protótipo e analisar ao todo constatou-se que esse projeto e de fácil manejo e de compreensão, são quatros movimentos que se acionados juntos ou separados são de extrema importância para movimenta o braço hidráulico, pode ser utilizado para carregar objetos pesados ou simplesmente utiliza para movimentos repetitivos. Uma das coisas que podem ser notadas e que seu funcionamento e através de seringas, ao invés de energia elétrica. Nos dias atuais praticamente todo aparelho qualquer que seja precisa de uma fonte de energia elétrica para utilizá-lo. Já nesse equipamento não a necessidade para este tipo de energia para movimenta o mesmo.

Esse protótipo foi criado para fins de estudos e para serem usados nas disciplinas que se engloba os conceitos citados e com estudos realizados constatou que esse protótipo e de fácil entendimento e montagem, que possam ser realizados em escolas para estudos das disciplinas que abordam os temas.

## REFERÊNCIAS

ABIMAQ. Todas as maquinas do mundo. In: A história das maquinas Abimaq 70 anos. Magma, 2006. Disponível em: <<http://www.abimaq.org.br/arquivos/html/publica%C3%A7%C3%B5es/Livro-A-historia-das-maquinas-70-anos-Abimaq.pdf>>. Acesso em: 26 agosto 2019.

BRASIL ESCOLA, 2019. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/principio-de-pascal.htm>>. Acesso em: 07 set. 2019.

KATO, L. K. Projeto de um braço robótico para fins didáticos, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171328/PFC-20142-LucasKenzokato>>.

pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 agosto 2019.

PUCCI, L. F. S. Princípio de Pascal: Teoria e Aplicações. Pedagogia e Comunicação, 2009. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/principio-de-pascal-teoria-e-aplicacoes.htm>>. Acesso em: 23 agosto 2019.

GONÇALVES, A. H. *et al.* Braço hidráulico controlado por seringas, Minas Gerais, 2016. Disponível em: <[https://www.ifmg.edu.br/arcos/documentos-do-site/tai\\_01\\_2016-2/tai-1-braco-hidraulico-com-seringas.pdf](https://www.ifmg.edu.br/arcos/documentos-do-site/tai_01_2016-2/tai-1-braco-hidraulico-com-seringas.pdf)>. Acesso em: 06 novembro 2019.



# **Aplicação da eletrônica embarcada no suporte a vida na unidade de terapia intensiva (UTI) hospitalar**

## **Application of embedded electronics in life support in the hospital intensive care unit (ICU)**

---

Gleiton Benedito Henrique

*Graduando em Engenharia Elétrica*

Maxwell da Silva Menezes

*Graduando em Engenharia Elétrica*

Rafael Lima de Oliveira

*Mestre em Engenharia Elétrica*

<http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.15

## RESUMO

O presente projeto trata da importância da Eletrônica embarcada no Suporte a Vida dentro da Unidade de Terapia Intensiva (UTI) hospitalar, onde será mostrado conceitos e aplicações que a grande maioria dos alunos e professores da Comunidade Acadêmica desconhece devido à restrição ao fluxo de pessoas que existe no ambiente hospitalar. Os aparelhos eletrônicos são de extrema importância dentro desse ambiente e faz parte integrante do tratamento dos pacientes estando fortemente inseridos nesse contexto.

**Palavras-chave:** aparelhos eletrônicos. eletrônica embarcada. custos de leito de UTI

## ABSTRACT

The present project deals with the importance of Electronics embedded in Life Support within the Hospital Intensive Care Unit (ICU), where concepts and applications will be shown that the vast majority of students and teachers of the Academic Community are unaware of due to restriction to the flow of people who exists in the hospital environment. Electronic devices are extremely important within this environment and are an integral part of the treatment of patients, being strongly inserted in this context.

**Keywords:** electronic devices. on-board electronics. ICU bed cost.

## INTRODUÇÃO

A Unidade de Terapia Intensiva (UTI) é destinada para internação de pacientes com instabilidade clínica elevada e de potencial gravidade. Por ser um ambiente de alta complexidade, é um local separado dentro do ambiente Hospitalar, onde se estabelece monitorização completa e vigilância 24 horas de cada paciente. A UTI pode ser dividida em três unidades básicas distintas: Unidade Adulto, Pediátrica e Neonatal (RDC N° 07/2015).

A UTI é constituída por vários leitos e os mesmos possuem vários equipamentos eletrônicos, parte mais interessante. A grande maioria dos alunos e professores da Comunidade Acadêmica não conhecem nada referente aos hospitais. Não são culpados pois nem todos possuem acesso livre a esse ambiente devido à alta complexibilidade e cuidados do local. Sendo assim, será abordado um pouco a respeito dos equipamentos existentes mais especificamente dentro da UTI, suas características principais e funcionalidades básicas de forma a agregar conhecimento para os leitores leigos no assunto.

Segundo a RDC N° 07 da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, cada leito de uma UTI necessita de equipamentos básicos para suporte a vida dos pacientes, como:

- Cama hospitalar com ajuste de posição, rodízios e grades laterais;
- Quatro equipamentos para infusão contínua e controlada de fluidos, mais conhecidos como bomba de infusão;

- Equipamentos e materiais que permitam monitorização contínua de:
  - Frequência respiratória;
  - Oximetria de pulso;
  - Frequência cardíaca;
  - Cardioscopia;
  - Temperatura;
  - Pressão arterial não-invasiva.

O equipamento de monitorização denominado Monitor Multiparâmetro Hospitalar supri praticamente todas as monitorias citadas acima e é o principal instrumento dentro da UTI.

À primeira vista podem parecer poucos equipamentos, porém possuem muita eletrônica embarcada e são essenciais tanto para monitoria dos sinais vitais quanto para a administração dos medicamentos para os pacientes.

Já parou para pensar no que é Eletrônica Embarcada?

A expressão EES que vem do inglês Embedded Electronic System costuma ser traduzida para o nosso idioma como sistema eletrônico embutido ou sistema eletrônico embarcado. Esta denominação indica um sistema eletrônico que tem por base um microprocessador, mas que diferentemente de um computador para uso geral, possui um software completamente dedicado ao dispositivo ou sistema que ele coordena. Sendo assim, ao contrário dos computadores de propósito geral, como o computador pessoal, empresarial ou destinado para jogos, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas pré-definidas, geralmente com requisitos específicos.

Portanto, sendo o sistema dedicado a tarefas específicas, através de estudos e técnicas pode-se aperfeiçoar o projeto conduzindo-o à redução do tamanho do produto, dos recursos computacionais e acarretando em redução do custo do produto final (SABER ELÉTRICA, ONLINE).

## Objetivo geral

Analisar e apresentar os equipamentos eletrônicos utilizados dentro de uma Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) de um hospital com suas funcionalidades e especificações. Após uma análise dos equipamentos, objetiva-se mostrar o custo aproximado de cada leito (valores aproximados dos aparelhos que compõe o mesmo) para base de dados e custos financeiros.

## Objetivos específicos

- Analisar e apresentar os dispositivos necessários/utilizados na UTI.
- Apresentar os requisitos mínimos de um leito de UTI.
- Apresentar o custo dos equipamentos básicos de um leito da UTI.

## Justificativa

Na comunidade acadêmica não se conhece muito sobre os equipamentos existentes no ambiente hospitalar e com o desenvolvimento deste trabalho será possível apresentar este tema com a finalidade de contribuir com conhecimento para a comunidade acadêmica. Este trabalho focará apenas na abordagem da Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) devido a extensa quantidade de equipamentos eletrônicos que compõe todos os setores de um hospital, que vai desde a Subestação Rebaixadora (responsável por receber a energia da concessionária e transformá-la para um nível de tensão utilizável no prédio) até os pequenos e complexos Monitores Multiparâmetros.

## METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido baseado em pesquisa de campo, onde serão realizadas visitas a uma unidade hospitalar para buscar dados e informações pertinentes ao contexto do trabalho.

Nos últimos dois anos o assunto mais comentado mundialmente é sobre a UTI devido ao aumento de internações. Com o aumento exponencial de pessoas internadas por causa da Covid-19, devido a pandemia que pegou o mundo inteiro de surpresa, houve uma elevada demanda por equipamentos hospitalares de alta complexibilidade para atender a exorbitante demanda crescente de pacientes em estado grave. Esse fenômeno abriu os olhos do mundo para a grande importância dos equipamentos hospitalares e sua complexibilidade de produção.

A ideia inicial de Unidade de Terapia Intensiva foi da enfermeira italiana Florence Nightingale, em 1854, no período da Guerra da Crimeia, quando os países do Reino Unido, França e Turquia declararam guerra à Rússia.

Florence saiu de Londres, com mais 38 voluntárias treinadas por ela para os Campos de Scurati, na Turquia, onde a taxa de mortalidade entre os soldados estava elevada chegando a 40%. Após ter iniciado o atendimento pela sua equipe, o índice de mortalidade entre os militares se reduziu a 2%, e a enfermeira passou a ser referência e ter respeito entre os combatentes e importante figura de decisão. (CREMESP, ONLINE)

Já o primeiro médico intensivista surgiu apenas na década de 1950, com Peter Safar. Preso por um tempo em um campo de concentração nazista e filho de médicos, Safar mudou para os Estados Unidos com os pais, onde se formou médico anestesista e usou sua sabedoria para criação do atendimento de urgência-emergência. Safar criou as técnicas de manutenção de vida para pacientes críticos e, no ano de 1962, estabeleceu a primeira UTI cirúrgica na cidade de Baltimore, além de elaborar a primeira disciplina de “medicina de apoio crítico”, nos Estados Unidos. Safar também fez várias contribuições na área, dentre as quais podem ser citadas a fundação da Associação Mundial de Medicina de Emergência e da Society of Critical Care Medicine (SCCM), em 1972 e a elaboração de ambulâncias UTI para transporte.

O início da Terapia Intensiva no Brasil foi em 1950, com a prática do método de ventilação mecânica controlada. Com a importação dos chamados “pulmões de aço” pelo Instituto de Ortopedia e Traumatologia da Universidade de São Paulo, originou-se as embrionárias unidades

de respiração.

A primeira UTI respiratória do Brasil surgiu em 1967 no Hospital dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro (HSE-RJ) graças aos estudos de ventilação mecânica do médico Antônio Tufik Simão.

Em São Paulo, o Hospital das Clínicas (HC) foi pioneiro na implantação das ainda prematuras UTIs. Em 1963, segundo o médico intensivista Dario Birolini, ele e outros residentes do HC procuraram o superintendente do hospital, Silvio de Barros, para discutir a criação e implantação de um ambiente dentro do pronto-socorro, onde se pudesse oferecer uma assistência dedicada aos doentes críticos. A proposta foi aceita e após o êxito em sua implantação, eles foram solicitados a implementá-la em outros hospitais, como o Sírio Libanês (CREMESP, ONLINE).

Norman Jefferis Holter nasceu em Montana no ano de 1914 e sua principal realização foi a criação do monitor Holter, semelhante a um moderno eletrocardiograma, que poderia monitorar a atividade cardíaca do paciente por um dia inteiro. Para a época foi uma grande evolução, pois era o primeiro aparelho portátil que permitia ao paciente levar seu dia a dia sem precisar ficar preso a uma cama hospitalar (Norman Holter, ONLINE).

Graças ao invento revolucionário de Norman Jefferis, monitor Holter, que pesava apenas 40 quilos (os monitores da época eram do tamanho de duas salas) cientistas o estudaram e evoluíram para chegar no ápice da tecnologia que são os monitores Multiparâmetros que se tem atualmente.

No Brasil, a Norma que rege todo serviço dentro da Unidade de Tratamento Intensivo é a - RDC Nº 07, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2015. Dentro desta Norma se descreve os equipamentos básicos que cada leito de Unidade de Tratamento Intensivo necessita. Esses equipamentos não são baratos, elevando o custo para implantação de uma UTI em cidades pequenas. Será listado, segundo a RDC Nº 07, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2015, os equipamentos básicos que cada leito necessita e seus valores aproximados, e as características de cada um. São eles:

## **Cama hospitalar**

As camas hospitalares evoluíram muito no decorrer da história. Estima-se que as primeiras camas com guardas ajustáveis tenham surgido por volta de 1815 e 1825, na Grã-Bretanha. Atualmente, as camas hospitalares são confeccionadas para operar em qualquer contexto, têm mecanismos inteligentes para se tornar mais práticas, para facilitar a tarefa dos cuidadores (IMO, ONLINE).

Camas hospitalares nada se parece com as que se utiliza nas residências. Além de ser reforçadas, são totalmente eletrônicas, contendo uma placa eletrônica central que controla todas as funções referente a mobilidade geral, como a elevação ou rebaixamento de cabeceira, pernas, ou da cama como um todo. Possui controle remoto fixo na cabeceira, nas laterais e um controle extra com cabo para ser manuseado a distância. Existem também modelos com colchão específico para controle de temperatura. O reparo desse tipo de equipamento não costuma ser complicado pois geralmente existe apenas uma placa de controle de onde todas as funções se derivam. A Engenharia está cada vez mais presente nesse sentido, onde a cada dia são inclusas mais funções a essas placas, onde em momentos de urgência, já possuem sistema para posicionamento automático para ser realizada massagem cardíaca (STRYKER, ONLINE).

## Ventilador pulmonar mecânico

Ventilador Pulmonar é um termo que faz referência aos equipamentos hospitalares responsáveis por auxiliar ou realizar a respiração pulmonar através de um meio artificial. Esses equipamentos foram criados para auxiliar pacientes que estejam sedados, sem a capacidade respiratória em pleno funcionamento ou que apresente um quadro de insuficiência respiratória.

Segundo a (American Society For Testing And Materials) ASTM International os respiradores pulmonares podem ser divididos ou separados em quatro grupos, quando se leva em consideração a aplicação dos mesmos. Esses grupos são:

- Ventiladores para uso doméstico;
- Ventiladores para anestésias;
- Ventiladores para transporte;
- Ventiladores para cuidados críticos.

Apesar de todos os equipamentos possuírem a função de ajudar pacientes com dificuldades respiratórias, cada um deles possui sua aplicação específica (CMOS, ONLINE).

Devido a pandemia, um grande número de equipamentos que, por se tratarem de uma tecnologia ultrapassada, estavam desativados e tiveram que ser reativados e colocados em uso. É nesse contexto que se faz necessário tomar muito cuidado, pois um equipamento destinado a salvar vidas, pode se tornar um grande problema tanto para o paciente quanto para a engenharia clínica. Por esse motivo é muito importante que antes de colocar o respirador em uso, se faz necessário que o equipamento passe por uma série de testes, manutenção preventiva e calibração para que ele não possa apresentar problema quando em uso no paciente. Outro ponto muito importante é a realização do teste de segurança elétrica dos equipamentos para atestar que o mesmo não oferece risco de choque elétrico para quem irá manuseá-lo. Mesmo que o equipamento já esteja em uso, a calibração se faz necessária para ajustar todos os parâmetros originais de fábrica e garantir que o processador interno esteja em pleno funcionamento e sem chances de interrupções, pois é um equipamento que além de auxiliar na respiração, dependendo do estado do paciente ele realmente substitui integralmente o trabalho dos pulmões (MDS, ONLINE).

## Monitor multiparâmetros hospitalar

O monitor multiparâmetro de sinais vitais é um aparelho de suma importância no ambiente hospitalar e já vem com alguns parâmetros básicos configurados de fábrica. No entanto, permite facilmente novas configurações e parametrizações pela equipe de atendimento de saúde, caso haja necessidade.

Ele é um equipamento que possui alarmes sonoros que são disparados caso algum sinal vital programado do paciente atinja níveis diferentes dos fixados, onde essa programação pode ser a programada de fábrica ou a selecionada pelo operador do equipamento, que tem a liberdade de ajustá-lo de acordo com as características específicas do paciente ou da situação de uso.

Mesmo que cada modelo do monitor multiparâmetros de sinais vitais possa disponibilizar mais ou menos recursos em seu visor, de modo geral, o equipamento apresenta para a o opera-

dor, que pode ser a equipe médica e de enfermagem, os seguintes dados:

- Pressão arterial (invasiva e/ou não invasiva);
- Batimentos cardíacos;
- Respiração;
- Saturação de oxigênio;
- Nível de Dióxido de carbono;
- Temperatura corporal.

A eletrônica embarcada é tão presente que faz desse equipamento um braço direito da medicina, pois a base para uma grande quantidade de exames e medicamentos está diante dos olhos dos médicos e enfermeiros em tempo real. Por se tratar de um equipamento com finalidades específicas, a Engenharia pode trabalhar a fim de compactar o aparelho e aperfeiçoar suas funções com finalidade de reduzir os custos de produção e aumentar a precisão e eficiência do mesmo (CMOSDRAKE, ONLINE).

### Valor médio de um leito de UTI

Dentro deste contexto, é apresentado na tabela 1 os valores médios de alguns equipamentos que compõe um leito hospitalar para uma UTI. Os valores apresentados são valores médios devido à grande diversidade de fabricantes e equipamentos.

**Tabela 1 - Valor Médio de Equipamentos Hospitalares.**

Equipamento	Valor Total (R\$)
CAMA HOSPITALAR	13.000,00
VENTILADOR MECÂNICO	120.000,00
BOMBA DE INFUSÃO (4 UNIDADES)	40.000,00
MONITOR MULTIPARÂMETROS	30.000,00
EQUIPAMENTOS MENORES	5.000,00
VALOR TOTAL DE UM LEITO	208.000,00

**Fonte: (ONLINE)**

Analisando estes valores é possível perceber o elevado custo para implantação de cada leito de uma UTI. Porém, além dos equipamentos mencionados na tabela 1, a RDC nº07/2010 exige que cada UTI tenha alguns equipamentos de uso coletivo ou contrato com instituição de saúde que tenha os seguintes recursos:

- Máquina de hemodiálise e seus periféricos (R\$ 85.000,00);
- Desfibrilador (R\$ 24.000,00);
- Eletrocardiógrafo (R\$11.000,00);
- Aparelho de móvel de Raio x (150.000,00), dentre outros.

Em resumo, montar uma UTI exige uma elevada carga de recursos financeiros e um bom Engenheiro Eletricista para a escolha correta dos equipamentos, pois qualquer compra realizada

de forma errada se traduz em um grande prejuízo para a instituição.

## Evolução tecnológica mundial

Abaixo será mostrado um infográfico para demonstrar a evolução dos equipamentos hospitalares.



Fonte: (ONLINE)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se com a apresentação deste conteúdo, que os leitores da Comunidade Acadêmica compreendam um pouco a respeito dos Hospitais, mais especificamente sobre as UTI e seus equipamentos de suporte a vida, pois estes estão localizados em locais de difícil acesso devido as restrições de contato existentes e necessárias para evitar entrada de contaminação, resguardando a vida dos pacientes internados. Além disso, foi possível apresentar um pouco da

história e da importância da evolução da tecnologia para a qualidade do trabalho desempenhado nos hospitais.

## REFERÊNCIAS

RDC Nº07. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/res0007\\_24\\_02\\_2010.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/res0007_24_02_2010.html) em: 20/03/2022.

Saber elétrica. Disponível em: <https://www.sabereletrica.com.br/sistemas-eletronica-embarcada/> Acessado em: 20/03/2022.

CREMESJ. Disponível em: <https://www.cremesp.org.br/?siteAcao=Jornal&id=1183#:~:text=Segundo%20o%20livro%20Medicina%20Intensiva,m%C3%A9dica%20da%20unidade%20at%C3%A9%201990.> Acessado em: 20/03/2022.

Norman Jefferis: Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Norman\\_Holter](https://pt.wikipedia.org/wiki/Norman_Holter) Acessado em: 20/03/2022.

STRYKER: Disponível em: <https://www.stryker.com/content/dam/stryker/acute-care/products/sv2/resources/SV2%20Brochure%20PT.pdf> Acessado em: 23/03/2022.

IMO: Disponível em: <https://imo.com.pt/news/a-evolucao-das-camas-hospitalares-imo/> acessado em 23/03/2022.

CMOS: Disponível em: <https://cmosdrake.com.br/blog/ventilador-pulmonar-como-escolher-o-modelo-ideal-para-cada-ambiente/> acessado em: 23/03/2022

MDS: Disponível em <http://www.mdsmedica.com.br/a-importancia-da-manutencao-calibracao/>:Acessado em: 23/03/2022.

CMOSDRAKE: Disponível em: <https://cmosdrake.com.br/blog/monitor-multiparametro-de-sinais-vitais/#:~:text=O%20monitor%20multipar%C3%A2metro%20de%20sinais%20vitais%20%C3%A9%20um%20equipamento%20que,de%20sa%C3%BAde%20atual%20do%20paciente.> Acessado em: 23/03/2022.

### LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RDC - RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA

UTI - UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA

EES – EMBEDDED ELETRONIC SYSTEM – SISTEMA ELETRÔNICO EMBARCADO

SCCM – SOCIETY OF CRITICAL CARE MEDICINE – SOCIEDADE DE MEDICINA INTENSIVA

HSE-RJ – HOSPITAL DOS SERVIDORES DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

ASTM – AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – SOCIEDADE AMERICANA PARA TESTES E MATERIAIS

### **Agradecimentos - Gleiton Benedito Henrique**

Primeiramente a Deus e seu filho amado Jesus Cristo por terem me dado oportunidade de chegar até aqui, mesmo enfrentando grande dificuldade em várias áreas de minha vida.

Não posso esquecer da minha família querida pelo incentivo que me deram para participar desse projeto e por sempre estar ao meu lado. Mesmo estando tão longe sempre me deram aquele apoio e ajuda mesmo que nas pequenas coisas. É por Deus e eles que cheguei aqui.

A minha amada esposa que desde quando éramos apenas namorados, nunca me julgou ou pensou mal a meu respeito e sempre disse que eu iria vencer e hoje posso dizer com todas as letras que sou mais do que vencedor.

Aos colegas que me apoiaram ao longo dessa jornada, onde formamos um verdadeiro time. Não em busca de vencer uma partida, mas lutando para vencer um campeonato que é a graduação. Sempre estivemos unidos em cada disciplina, nos ajudando em cada matéria. Dificuldades surgiram para todos e com a pandemia então nem se fala, mas seguramos uns nas mãos dos outros e caminhamos juntos até o fim, de maneira a não deixar ninguém para trás. Vou resumir nossa convivência nesses cinco (5) anos em apenas uma pequena e simples palavra: União.

Aos professores que incansavelmente nos capacitaram e nos orientaram ao longo dessa árdua jornada, alguns abrindo mão de seu momento de lazer para nos ajudar sabendo das dificuldades que a pandemia nos trouxe, ressaltando o orientador MSc. Rafael Lima de Oliveira, que com afinho nos orientou nesse artigo.

E não poderia deixar de agradecer a Coordenadora Eusínia por toda atenção direcionada aos alunos durante sua gestão.

### **Agradecimentos - Maxwell da Silva Menezes**

Primeiramente a Deus por ter me sustentado e me dado a oportunidade e forças para enfrentar um grande desafio ímpar em minha vida e conseguido chegar até o fim.

Agradeço à minha família, meus pais, minha irmã e minha esposa que foram o sustento e suporte para essa minha caminhada. Sem eles eu não conseguiria este êxito.

A toda a equipe da Uniredentor, à coordenação, em especial ao coordenador Frederico e a coordenadora Eusínia e aos funcionários que trabalharam por mim nesse período da minha vida.

A todos os amigos de turma que fiz durante esses anos pela troca mútua de conhecimento e experiência de vida que vou levar para sempre.

A todo corpo docente, todos os professores que dedicaram suas vidas a nos ensinar e nos fazer profissionais competentes.

Ao meu professor orientador MSc. Rafael Lima de Oliveira que com todo o seu conhecimento nos orientou nesse artigo.

A todos que de alguma forma, direta ou indireta, colaborou para que eu chegasse até aqui o meu muito obrigado!



**Numerical simulation of Navier-Stokes equations for analysis of turbulent flow with Spalart-Allmaras model around isothermal circular cylinders in line via immersed boundary method**

---

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos  
*Ph.D. State University of Mato Grosso, Alta Floresta – MT*  
<http://lattes.cnpq.br/5416661457556148>

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.128.16

## ABSTRACT

An immersed boundary method is development for the fluid-body interaction, being consider the heat-transfer for the onset turbulence in two-dimensional (2D) thermofluid dynamics around isothermal complex geometries immersed in incompressible Newtonian flows. The fluid motion and temperature are defined on a fixed Eulerian grid, while the immersed body is defined on a Lagrangian grid. A virtual physical model is used for the diffusion of interfacial forces within the flow, guarantees the imposition of the no-slip boundary condition. This model dynamically evaluates not only the force that the fluid exerts on the solid surface, but the heat exchange between them. Therefore, this work presents the Navier-Stokes equations, together with the energy equation, under physically appropriate boundary conditions. To calculate the turbulence viscosity, two models were used, to know, the Spalart-Allmaras model, based on Unsteady Reynolds Average Navier-Stokes Equation (URANS). For all simulations, a computational code was developed to calculate different dimensionless numbers, such as, lift and drag coefficients, Nusselt, Strouhal numbers, among other. The results are compared with previous numerical results, considering different Reynolds numbers.

**Keywords:** immersed boundary method. mixed convection. turbulent flow.

## INTRODUCTION

Many physical phenomena in fluid mechanics can be describe by mathematical modeling, using a set of partial differential equations, often nonlinear, known as the laws of conservation of fluid mechanics, they are: conservation of momentum, conservation of mass (continuity) and energy. These laws together model the dynamics of the forces acting on the fluid, as well as, the energy exchange that occurs in the different regions of the flow. In this work, this set of equations was discretized by finite difference method, for incompressible Newtonian fluid, where it relates the term of viscous stresses with the deformation rates in the velocity field, thus simulating the flow dynamics with the called Navier-Stokes equation.

Traditional methods of domain discretization present some difficulty in terms of implementation and calculation time, requiring successive remeshing process (reconstruction of new mesh) for each new iterative process, in addition to the need to introduce a new generalized coordinate system. Thus, considering these physical and mathematical problems, a computational code was developed for the immersed boundary methodology for the thermofluid dynamics interaction. We present some of the main works involving the immersed boundary method, considering the heat-transfer by mixed convection process. The purpose of this set of references is the preparation for the theoretical foundation of the methodology, bringing greater ease with respect to the immersed boundary methodology, extracting important physical and mathematical conceptual points, which will be applied in the methodology of interest in this work. Among the main references involving the thermal part, we can list some important ones, such as, Badr & Dennis (1985) and Badr *et al.* (1990). These works do not present the immersed boundary method, but they are an excellent precursor in relation to the flow around rotating circular cylinder involving forced convection, being the theoretical basis used in other important works for the implementation of the thermal part. In summary, the experimental and numerical works of the authors Badr & Dennis considered the problem of laminar flow with heat-transfer

by forced convection from a rotating circular cylinder around its own axis, initially for a Reynolds number equal to 100, with a specific rotation rate ( $\Omega$ ), for the interval varying between  $\Omega = 0$  and  $\Omega = 1$ . Meanwhile, the second work, uses the Reynolds number range varying between  $Re = 10$  and  $Re = 100$ , with specific rotation rate equal to 4. In both works, the cylinder is located in a uniform flow. Thus, the author report that the temperature fields are strongly influenced by the vorticity of rotation of the cylinder. The author found, in both studies, that the heat-transfer coefficient tends to decrease as the rotation of the cylinder increase. An attribution of the presence of a layer of rotating fluid around the cylinder was verified, being separated from the main flow of the flow. Thus, the results demonstrated convergence and numerical stability compared to others available in the literature (see, Lai & Peskin (2006) and Sharma *et al.* (2012))

Park *et al.* (2017), present the immersed boundary method developed for the study of fluid and flexible body interactions with heat transfer. The movement of the fluid and the temperature are defined in a fixed Eulerian grid, while the flexible movement of the body is defined in a mobile Lagrangian grid. The governing equations for fluid movement, temperature and flexible body movement are solved independently in each grid. To deal with the transfer of momentum between the flexible body and the fluid, a forcing term is added to the fluid motion equations with the imposition of the non-slip condition of the fluid in the flexible body. A heat source is added between the heated body and the surrounding fluid, which can be calculated in a similar way to that used to obtain the amount of movement, imposing the thermal conditions on the body. The momentum and heat transformation between the Eulerian and Lagrangian variables were established using the Dirac delta function. To validate the methodology used by Park *et al.* (2017), the problems of natural and forced convection for a rigid circular cylinder were simulated. For the natural convection of the heated rigid cylinder with the isothermal boundary condition, a good approximation with the reference data was obtained. For forced convection, a flow around the rigid circular cylinder was also simulated with both isothermal and constant heat flow boundary conditions. The Nusselt average local number for the cylinder, obtained good convergence in relation to the scientific literature. Finally, a flow around the heated flexible cylinder was simulated, and the heat transfer was evaluated in comparison with the rigid cylinder. Two different states were observed for the flexible cylinder, depending on the number of Reynolds and the flexible characteristic of the cylinder. For  $Re = 10$  and  $Re = 20$  the cylinder presented the “extended-stable” state regardless of the flexible property, where the heat transfer was deteriorated in relation to the rigid cylinder. The flexible variation experienced an initial circular shape to a fan-shape in the extended-stable state. Longitudinal elongation increases the Nusselt number near the fixed point, but decreased the transverse thermal dissipations upstream of the cylinder to the aerodynamic shape rather than circular, this resulted in a decrease in the Nusselt number. Other analyzes were performed and validate, including stability for the fluid-body interaction constants and heat transfer. The problems of natural and forced convection with the boundary condition of the thermal and isothermal flow are simulated with a good approximation compared to previous studies. At  $Re = 40$ , the cylinder showed both behaviors, depending on the flexible property. Other analyzes were performed and validated, including stability for the fluid-body interaction constants and heat transfers. The problems of natural and forced convection with the boundary conditions of the thermal and isothermal flow are simulated with a good approximation compared to previous studies. Simulations for heat transfer by forced convection around a flexible circular cylinder have been made and validated.

Santos *et al.* (2018), presented the immersed boundary method coupled with virtual physical model to simulated incompressible two-dimensional flows around a heated square cylinder at constant temperature on its surface. A good numerical convergence was obtained, being the margin of error, with respect to the works, less than 3%. The time evolution of the drag and lift coefficient, as well as, the Nusselt number were obtained with this methodology, being the parameters obtained from the Eulerian fields, since the geometry used in this work has singularities, which were taken into account in the construction of the code. The implementation process for the calculation of the drag and lift coefficients is simple. This fact is important, because it allows its applicability to other (less simple) geometries. In all simulations, the results show that influence of the surface of the heated body immersed in the flow increase as the Reynolds numbers increase. For the temporal discretization, the second-order Adams-Bashforth scheme was used together with spatial centered scheme. The considered turbulence models were used for the energy transfer process between the largest and the smallest turbulent scales.

In addition to the validation of the methodology, another objective was to better understand all the phenomena present in this flow through a two-dimensional analysis, evaluating the thermal influence of the cylinder on the flow, the emission of vortices and the dynamics of formation and suppression of the wake. The influence of rotation on reducing drag and increasing the lift coefficient was verified, as well as, the distribution of the thermal field near the cylinder. With the rotation movement, the vortex wake is displaced in relation to the horizontal flow line. With the increase of the rotation, the amplitude of oscillations of the fluid dynamic coefficients, tend a null value, that is, the process of vortex generation tends to decrease with the increase of the specific rotation value. Finally, it was verified that the number of Strouhal is little influence for basic values of the specific rotation, but that it depends on the number of Reynolds. The quantitative results show a good numerical agreement in relation to the results available in the literature. Based on this, the immersed boundary methodology with the virtual physical model proved to be promising for the flow simulation with forced convection.

In this work, the properties were considered constant. The buoyance term is based on the approximation of the Boussinesq approximation, considering the problems of mixed convection. Other terms, such as, energy generation, are neglected in this work, as well as, internal heat or humidity. Coriolis force or rotation effects are also absent in this work. The proposed methods were validated for natural and forced convections with the isothermal and constant heat flux boundary conditions. Finally, the heat transfer and the onset turbulence around complex geometry with the surrounding fluid was examined. The obtained numerical results are accurate and stable, presenting a good agreement with the available results in the literature. The following section presents the mathematical methodology.

## **MATHEMATICAL METHODOLOGY**

### **Formulation for the fluid motion and temperature**

Considering an incompressible and two-dimensional flow a Newtonian fluid, with a domain represented by  $\Omega$ , and a boundary represented by  $\partial\Omega$ , with the surface of the immersed body being heated with constant temperature, which can be modeled through discretized points, previously named by Lagrangian points. Since the effect of the frontier is taken into account

through the introduction of the forcing term in the momentum and energy equation, the equations that describe the heat transfer by mixed convection in the immersed boundary methodology are expressed as follows.

$$\nabla \cdot \mathbf{u}, \quad (1)$$

$$\rho_0 \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f}, \quad (2)$$

$$\rho_0 \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho_0 \mathbf{g} (1 - \beta (T - T_\infty)) \mathbf{j} + \mathbf{f}, \quad (3)$$

$$\rho_0 c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) T \right) = k \nabla^2 T + q, \quad (4)$$

Where Eqs. (1), (2) and (4) are forced convection, while Eqs. (1), (3) and (4) are for natural convection, and in Eq. (3), the Boussinesq approximation is used. The terms,  $\mathbf{u}$ ,  $p$ ,  $T$  and  $T_\infty$  denote, velocity vector, pressure, temperature and reference temperature, respectively. The terms,  $\rho_0$ ,  $\mu$ ,  $\beta$ ,  $k$  and  $c_p$  are fluid density at temperature  $T = T_\infty$ , viscosity, thermal diffusivity, thermal expansion coefficient and specific heat at constant pressure,  $\mathbf{g}$  is a downward gravitational acceleration; the term  $\rho_0 \mathbf{g} (1 - \beta (T - T_\infty))$  accounts for the effects of the fluid temperature on the fluid flow, the term  $\mathbf{j}$  is the unit vector in the positive y-axis direction, respectively.

The term of force  $\mathbf{f}$  and thermal source in the Eqs. (2) e (3) are the Euler force fields where these sources model the existence of the interface immersed in the flow, visualizing the body immersed in the flow having non-null value in Eulerian grid near the Lagrangian grid, being expressed by.

$$\mathbf{f}(x, t) = \int_{\partial \Omega_b} F(\mathbf{X}_k, t) \delta(x - \mathbf{X}_k) d\mathbf{X}_k, \quad (5)$$

where  $F(\mathbf{X}_k, t)$  is the Lagrangian force density, calculated on the interface points  $x$  and  $\mathbf{X}_k$  which are the positions of a particle of Eulerian and Lagrangian fluid on the interface, respectively. The term  $\delta(x - \mathbf{X}_k)$  is the Dirac delta function, which represents the interaction between the fluid and the immersed boundary. Similarly, the thermal source represented by  $q$  is added to Eq. (4), being responsible for making the flow feel the presence of the heated solid interface, in other words, it is heating source at the Lagrangian point on the immersed border, being able to be expressed by.

$$q(x, t) = \int_{\partial \Omega_b} Q(\mathbf{X}_k, t) \delta(x - \mathbf{X}_k) d\mathbf{X}_k, \quad (6)$$

where,  $Q(\mathbf{X}_k, t)$  is the heat flux at the border being the difference between the derivative of the approximate specific temperature.

## The virtual physical model

The virtual physical model, developed by Silva et al. (2003), is a methodology for calculating the forces that act on the discrete points of a given border, also called the interfacial force or Lagrangian force. The characterization of the Lagrangian force represents the difference

between the various immersed boundary methodologies. In this work, only the rigid boundaries were treated (no elasticity), but the model can be used or extended to other types of interface, for example, for elastic boundaries, boundaries between different fluids, etc. The virtual physical model uses the diffusion of interfacial forces on the interior of the flow. Thus, the Eulerian force field is applied in the vicinity of the immersed boundary, and its value is minimized as the distance to the interface increases. This model dynamically assesses not only the force that the fluid exerts on the solid surface immersed in the flow, but takes into account the thermal exchange between them.

The Lagrangian force  $F(\mathbf{X}_k, t)$ , and the thermal source  $Q(\mathbf{X}_k, t)$ , are evaluated separately, in other words, for Lagrangian force a balance of amount of movement was carried out on a fluid particle that is close to the fluid-solid interface, while for the thermal part, the dimensionless energy equation was applied, which shows the interaction between the particle fluid and the interface, which takes into account all the terms of the Navier-Stokes equation. Then, assuming that all particle fluid, including those over the interface, must satisfy the balance of amount of movement and energy. Thus, the density of interfacial force can be evaluated using the principle of conservation of the momentum and energy, applying over any particle of fluid that makes up the flow. Therefore, taking the particle fluid crossing an arbitrary immersed boundary interface, we obtain the following formulation.

$$F(\mathbf{X}_k, t) = \underbrace{\rho \frac{\partial \mathbf{U}(\mathbf{X}_k, t)}{\partial t}}_{F_a} + \underbrace{\rho \nabla[\mathbf{U}(\mathbf{X}_k, t)\mathbf{U}(\mathbf{X}_k, t)]}_{F_i} + \underbrace{\nabla p(\mathbf{X}_k, t)}_{F_p} - \underbrace{\mu \nabla^2(\mathbf{X}_k, t)}_{F_v} \quad (7)$$

where, the portions referring to the terms of the Eq. (7), from left to right, are called acceleration force, inertial force, pressure force and viscous force, respectively.

In a manner similar to that performed in Eq. (7), for the calculation of the thermal source in the particle fluid in contact with the interface, an energy balance is performed as follows

$$Q(\mathbf{X}_k, t) = \frac{\partial \Theta(\mathbf{X}_k, t)}{\partial t} + \nabla[\mathbf{U}(\mathbf{X}_k, t)\Theta(\mathbf{X}_k, t)] - \frac{1}{P_e} \nabla^2 \Theta(\mathbf{X}_k, t), \quad (8)$$

where, the portions referring to Eq. (8), from the right, are called local temperature variation rate, thermal dissipation rate due to convection and diffusive thermal energy transport rate. In Eq. (8), each term is evaluated based on the values of the variables (velocity, pressure and temperature), of the Eulerian grid, interpolated for the Lagrangian grid and for the auxiliary points used in obtaining spatial derivatives. This process is detailed in the next subsection.

## Calculation of velocity, pressure and temperature

### Auxiliary point allocation process

The first step is to arbitrate an initial Lagrangian point for calculating the interfacial force  $F(\mathbf{X}_k, t)$ . Then, two mutually orthogonal auxiliary lines are drawn on this point, one of which is parallel to one of the Eulerian axes. Two auxiliary points are marked on each of the lines, on the outside of the solid body, at a distance  $\Delta x$  and  $2\Delta x$  of the Lagrangian point considered. This distance is necessary in order to prevent two auxiliary points from being allocated within the same Eulerian cell. The grids that are more than  $2\Delta x$  distance from the Lagrangian points, do not

contribute to the interpolation. The internal and external regions of the solid body were identified with the aid of the normal unitary vector on the surface, which has its positive direction forcing outside the immersed body. The auxiliary points are always located in the regions of interest of the flow, that is, in the region to be simulated. Thus, the values of velocity, pressure and temperature at the points, in general, are not know, but can be obtained, from neighboring cells, with the ais of a distribution/interpolation function.

Thus, the general equation for obtaining the velocity at Lagrangian points and auxiliary points is expressed in the following formula.

$$\mathbf{U}(\mathbf{X}_k) = \sum_i D_i(x_i - \mathbf{X}_k) \mathbf{U}(x_i), \quad (9)$$

where  $\mathbf{U}(\mathbf{X}_k)$  are the Lagrangian velocities, calculated at the auxiliary points and at the point  $\mathbf{X}_k$  by the interpolation of the Eulerian velocities. Similarly, for the calculation of pressure and temperature derivatives at each Lagrangian point, it was necessary to obtain the pressure and temperature values on the interface, at point  $\mathbf{X}_k$ . Thus, for the calculation of pressure and temperature an auxiliary point, which is in a normal position at a distance  $\Delta x$  from the Lagrangian point from the Lagrangian point. The general equation for obtaining the pressure and temperature at the auxiliary points or on the interface and at the Lagrangian points in the and directions are given, respectively, by the systems.

$$p(\mathbf{X}_k) = \sum_i D_i(x_i - \mathbf{X}_k) p(x_i) \quad (10)$$

$$\Theta(\mathbf{X}_k) = \sum_i D_i(x_i - \mathbf{X}_k) \Theta(x_i)$$

$$p(\mathbf{Y}_k) = \sum_i D_i(x_i - \mathbf{Y}_k) p(y_i) \quad (11)$$

$$\Theta(\mathbf{Y}_k) = \sum_i D_i(x_i - \mathbf{Y}_k) \Theta(y_i)$$

where,  $p(\mathbf{X}_k)$  and  $p(\mathbf{Y}_k)$  are pressure values on the interface, and  $p(x_i)$  and  $p(y_i)$  are pressure value in the nearest Eulerian grids, in the  $x$  and  $y$  directions, respectively. Similarly,  $\Theta(\mathbf{X}_k)$  and  $\Theta(\mathbf{Y}_k)$  are the temperatures at auxiliary points at  $k$  points and  $\Theta(x_i)$ , the temperature at the nearest Eulerian points. The distribution/interpolation function  $D$ , adopted in thus work, is used for the interpolation of variables in the Eulerian grid. Regarding the computational cost involved, it was reduced when considering non-null  $D$  for distances less than  $2\Delta x$  from the interpolation point, which is also valid for the  $F(\mathbf{X}_k, t)$  distribution. Therefore, in this work, Peskin (1977) proposal, modified by Juric (1996), is used, being defined by

$$D(x - \mathbf{X}_k) = \prod_{m=1}^N \frac{g(r_x)g(r_y)}{h^2}, \quad (12)$$

where,

$$g(r) = \begin{cases} g_1(r) & , \text{ if } \|r\| < 1 \\ 0.5 - g_1(2 - \|r\|) & , \text{ if } 1 < \|r\| < 2 \\ 0 & , \text{ if } \|r\| > 2 \end{cases} \quad (13)$$

where,  $g_1(r) = 1/8 \left( 3 - 2\|r\|\sqrt{1 + 4\|r\| - 4\|r\|^2} \right)$ , and  $r$  is called the radius of influence of the distribution function, being represented here by  $\left[ \frac{1}{h}(x - x_k) \right]$  or  $\left[ \frac{1}{h}(y - y_k) \right]$ . The term,  $h = \Delta x = \Delta y$ , is the size of the Eulerian grid and  $(x,y)$  the coordinates of a Eulerian point in the domain. To calculate the temperature at each time step in the iterative process over the immersed boundary, the following equation was used.

$$\Theta(\mathbf{X}_k) = \sum_i D_i(x_i - \mathbf{X}_k) \Theta(x_i). \quad (14)$$

Thus, after the interpolation of velocity, pressure and temperature at the interface and at auxiliary points, the derivatives that make up the terms for the calculation of Lagrangian source terms are determined in the  $x$  and  $y$  directions, with the so-called Lagrange polynomials of first and second order. Generically, denominated the components of velocity or pressure, defined by the interpolation function, given by the linear combination of the Lagrange polynomials, in the form

$$\phi(x) = \sum_{i=0}^m \phi_i \prod_{j=0, j \neq i}^m \frac{x - x_j}{x_i - x_j}. \quad (15)$$

### Calculation of Lagrangian force distribution and thermal source

After calculating the terms das Eqs. (7) and (8), and obtaining the values for  $F(\mathbf{X}_k, t)$  and  $Q(\mathbf{X}_k, t)$ , then the Eulerian terms are calculated for  $\mathbf{f}$  and  $q$ . The system calculation for the terms  $\mathbf{f}$  and  $q$ , in the  $x$  and  $y$  direction, are presented below, respectively.

$$\begin{aligned} \mathbf{f}(x_i) &= \sum_i D_i(x_i - \mathbf{X}_k) F(\mathbf{X}_k) \Delta s(\mathbf{X}_k) \\ q(x_i) &= \sum_i D_i(x_i - \mathbf{X}_k) Q(\mathbf{X}_k) \Delta s(\mathbf{X}_k) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{f}(y_i) &= \sum_i D_i(y_i - \mathbf{Y}_k) F(\mathbf{Y}_k) \Delta s(\mathbf{Y}_k) \\ q(y_i) &= \sum_i D_i(y_i - \mathbf{Y}_k) Q(\mathbf{Y}_k) \Delta s(\mathbf{Y}_k) \end{aligned} \quad (17)$$

where, in the Eqs. (16) and (17), in the respective  $x$  and  $y$  directions,  $\mathbf{f}(x_i)$  and  $\mathbf{f}(y_i)$ , are the forces at each Eulerian node, while  $F(\mathbf{X}_k)$  and  $F(\mathbf{Y}_k)$ , are the force in each Lagrangian node being distributed to Eulerian nodes. The terms,  $q(x_i)$  and  $q(y_i)$ , is presented are heat sources for each Eulerian node, due the presence of immersed heated, and  $Q(\mathbf{X}_k)$  and  $Q(\mathbf{Y}_k)$  are the thermal

source in each Lagrangian node being distributed to the nodes Eulerian, thus forming, a thermal field of Eulerian force that acts on the fluid particles near the border.

## MATHEMATICAL MODELING OF TURBULENCE

### The Spalart-Allmaras model

The Spalart-Allmaras turbulence model emerged in the 1990's after a coherent convergence between ideas about an empirical model that resolved the turbulence, that is, that which only a single equation, the modeling would occur directly, solving the question of the main turbulent parameter: turbulent viscosity, without involving calculations with turbulent energy or dissipation or vorticity, where in other existing models, these characteristic parameters are necessary to define the turbulence behavior in the flow. In the Spalart-Allmaras model, a transport equation for turbulent viscosity is established, using empiricism and argument from dimensional analysis, invariance and a selective dependence on molecular viscosity, according to the works of Spalart *et al.* (1992). The equation includes a non-viscous destruction term that depends on the distance to the wall. Unlike algebraic models, the first models of an equation are local, in the sense that the equation at one point does not depend on the solution at other points. Therefore, it is compatible with grids of any nature. The solution close to the wall is less difficult to obtain.

Wall and undisturbed flow conditions are elementary. The model produces relatively smooth turbulent laminar transition at points specified by the user. The model was calibrated in boundary layers with a pressure gradient. The turbulent viscosity ( $\nu_t$ ) is calculated from the Spalart-Allmaras working aid variable,  $\tilde{\nu}$ , and damped by the function  $f_{\nu_i}$  near to the walls,

$$\nu_t = \tilde{\nu} f_{\nu_1}, \quad (18)$$

where,

$$f_{\nu_1} = \frac{\chi^3}{\chi + C_{\nu_1}^3}, \quad (19)$$

with,

$$\chi = \frac{\tilde{\nu}}{\nu}. \quad (20)$$

Thus, the so-called auxiliary work variable of the Spalart-Allmaras model,  $\tilde{\nu}$ , obeys the following transport equation

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j \tilde{\nu}) \\ = c_{b_1} (1 - f_{t_2}) \tilde{S} \tilde{\nu} + \frac{1}{\sigma} \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} \left( (\nu + \tilde{\nu}) \frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j} \right) + c_{b_2} \frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j} \frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j} \right] \\ - \left[ c_w f_w - \frac{c_{b_1}}{k^2} f_{t_2} \right] \left[ \frac{\tilde{\nu}}{d_w} \right]^2 + f_{t_1} \Delta U^2, \end{aligned} \quad (21)$$

where the terms on the right side of Eq. (21) represent, respectively: (i) the production of turbulent viscosity, (ii) the molecular and turbulent diffusions of  $\tilde{\nu}$ , (iii) the dissipation of  $\tilde{\nu}$ , (iv) the destruction of  $\tilde{\nu}$  that reduces the turbulent viscosity to the wall and, finally, (v) the terms that model transition effects to turbulence, indicated by the subindex  $t$ . For regions distant from the walls, the function  $f_{v_i}$  has no influence on the calculation of turbulent viscosity, being its unit value and, therefore, making  $v_t = \tilde{\nu}$ . The production term of the transport equation, Eq. (21), also needs a correction near to the wall, which is performed by replacing the parameter  $S$  with a modified variable  $\tilde{S}$ , which is also influenced by a damping function  $f_{v_2}$ , defined similarly to  $f_{v_1}$ . Thus,  $\tilde{S}$  and  $f_{v_2}$  are presented below by following formulation

$$\tilde{S} = S + \frac{\tilde{\nu}}{(kd_w)^2} f_{v_2}, \quad (22)$$

$$f_{v_2} = 1 - \frac{\chi}{1 + \chi f_{v_1}}, \quad (23)$$

where,  $d_w$ , Eq. (22), is the distance to the near wall, and  $S$  is the modulus of the strain rate, calculated with the variables of the filtered field, being calculated by

$$S = \sqrt{2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij}} \quad (24)$$

The function  $f_w$  is defined as a unit values for the region of the logarithmic boundary layer, intensifying the term of distribution as it approaches the wall, tending to zero for the most distant regions of the wall, thus being defined as being

$$f_w = g \left( \frac{1 + c_{w_3}^6}{g^6 + c_{w_3}^6} \right), \quad (25)$$

where,

$$g = r + c_{w_2}(r^6 - r), \quad (26)$$

and,

$$r \equiv \frac{\tilde{\nu}}{S k^2 d_w^2}. \quad (27)$$

Others constants of the model are  $\sigma = 2/3$ ,  $c_{b_1} = 0.1355$ ,  $c_{b_2} = 0.622$ ,  $k = 0.41$ ,  $c_{w_1} = c_{b_1}/k^2 + (1 + c_{b_2})/\sigma$ ,  $c_{w_2} = 0.3$ ,  $c_{w_3} = 2$  and  $c_{v_1} = 7.1$ . These constants were determined empirically. Regarding the average energy equation with turbulent diffusivity, applying an additional scale  $Q_j$ , being represented by

$$\frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}_j \bar{\Theta})}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \alpha \left( \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial x_j} \right) + \bar{u}_j \bar{\Theta} - \bar{u}_j \bar{\Theta} \right], \quad (28)$$

where, the term  $\bar{u}_i^{n+1}$  is the resolved temperature field.

## NUMERICAL METHOD

The numerical method used in this paper is the fractional steps that unites the velocity and pressure. With the aim to solve the Navier-Stokes equation, result new velocity and pressure fields. For the time discretization is used Euler's method of the first order. The Navier-Stokes equation were solved explicitly. The correction of pressure results in a linear system, solved by Modified Strongly Implicit Procedure developed by Schneider & Zedan (1981). The Eq. (2), can be rewritten in the following in the following way

$$\begin{aligned} \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} + \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} (u_i^n u_j^n) \right] \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p^{n+1}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + v_t) \left( \frac{\partial u_i^n}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^n}{\partial x_i} \right) \right] + f_i^n. \end{aligned} \quad (29)$$

In the fractional step method, the velocities, pressure and the forcing term of the predictive instant ( $n$ ) are used to calculate, in the predictive step, and estimate for the velocity in the current time  $\bar{u}_i^{n+1}$ , represented by the equation

$$\begin{aligned} \frac{\bar{u}_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} + \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} (u_i^n u_j^n) \right] \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p^{n+1}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + v_t) \left( \frac{\partial u_i^n}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^n}{\partial x_i} \right) \right] + f_i^n, \end{aligned} \quad (30)$$

the next step in the fractional step method is to subtract Eq. (29) from Eq. (30), resulting in

$$\frac{\bar{u}_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} (p^{n+1} - p^n), \quad (31)$$

doing some algebraic manipulations, we get the pressure field calculated, we obtaining the equation corrected for the velocity in the current iteration (corrector step), being represented by

$$u_i^{n+1} = \bar{u}_i^{n+1} - \frac{\Delta t}{\rho} \frac{\partial p^{n+1}}{\partial x_i}. \quad (32)$$

## RESULTS

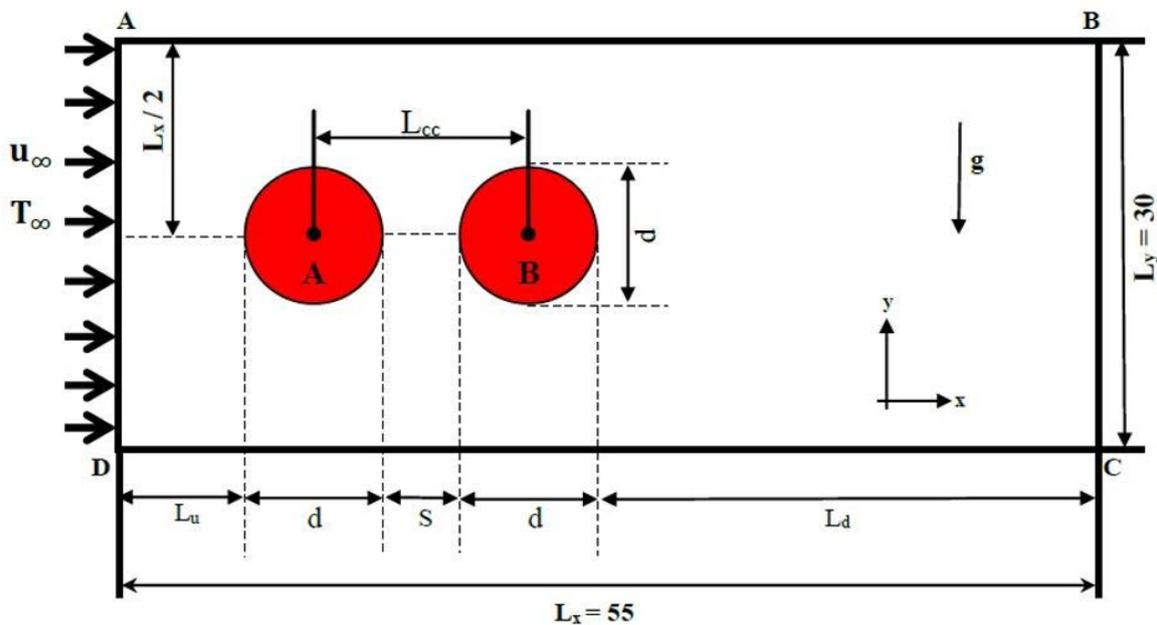
Using the immersed boundary method coupled virtual physical model, implemented in C/C++ code, is possible perform simulation of two-dimensional flows around a heated body immersed in the flow. In this section, the flow around a pair of heated circular cylinders in tandem have equal diameters and the same center-to-center distance ( $L_{CC}$ ). The fluid and the heat flow

are characterized by Reynolds number  $Re = \frac{\rho U_\infty D}{\mu}$  and Prandtl number  $Pr = \frac{\mu c_p}{k}$ , where  $\rho$  is the fluid density,  $U_\infty$  is the free stream velocity,  $D$  is the cylinder diameter,  $\mu$  is the dynamic viscosity,  $c_p$  is heat at constant pressure and the thermal diffusivity. In this work, numerical simulations are conducted for different Reynolds numbers ( $Re = 1 - 500$ ), while keeping the Prandtl number fixed at  $Pr = 0.7$ . Both heat and fluid flow characteristics like the drag  $C_d$  and lift  $C_\ell$  coefficients, recirculation behind the cylinder, streamline and isotherm pattern, average Nusselt number on the cylinder surface are presented and compared with previous result in the literature. In this case, the angle formed by the segment joining the centers of the two cylinders and the axis of the abscissa is zero.

### Description of the problem and boundary conditions

In the **Fig. 1**, the two cylinders are identical and fixed with the same diameters, maintained in “tandem” (cylinders in line) with downstream of the cylinder A. The cylinders are confined to a channel with free flow, with uniform velocity ( $U_\infty$ ) and constant temperature ( $T_c (> T_\infty)$ ). The horizontal and vertical spacing between the cylinders are fixed in  $L_u = 16.5 d$  and  $L_d = 19.5 d$ , respectively. These values are chosen to reduce the effect of boundary conditions on the inlet and outlet relative to the flow patten and the cylinder boundary.

**Figure 1: Illustration of the computational domain with two cylinders in tandem configuration**



The drag ( $C_d$ ) and lift ( $C_\ell$ ) coefficients for the calculation of each cylinder are performed as follows:

$$C_d = C_{dp} + C_{dv} = \frac{2F_d}{\rho U_\infty^2 D}, \tag{33}$$

$$C_\ell = C_{\ell p} + C_{\ell v} = \frac{2F_\ell}{\rho U_\infty^2 D}, \tag{34}$$

where,  $C_{\ell p}$  and  $C_{\ell v}$  represent the lift coefficients due pressure and viscous forces, respectively. In a similar way,  $C_{dp}$  and  $C_{dv}$ , represent the drag coefficients due to the pressure and viscous forces. The terms,  $F_d$  and  $F_\ell$  are forces of drag and lift, respectively, acting on the surface of the cylinder. Thus, the drag and lift coefficients can be obtained from the expressions:

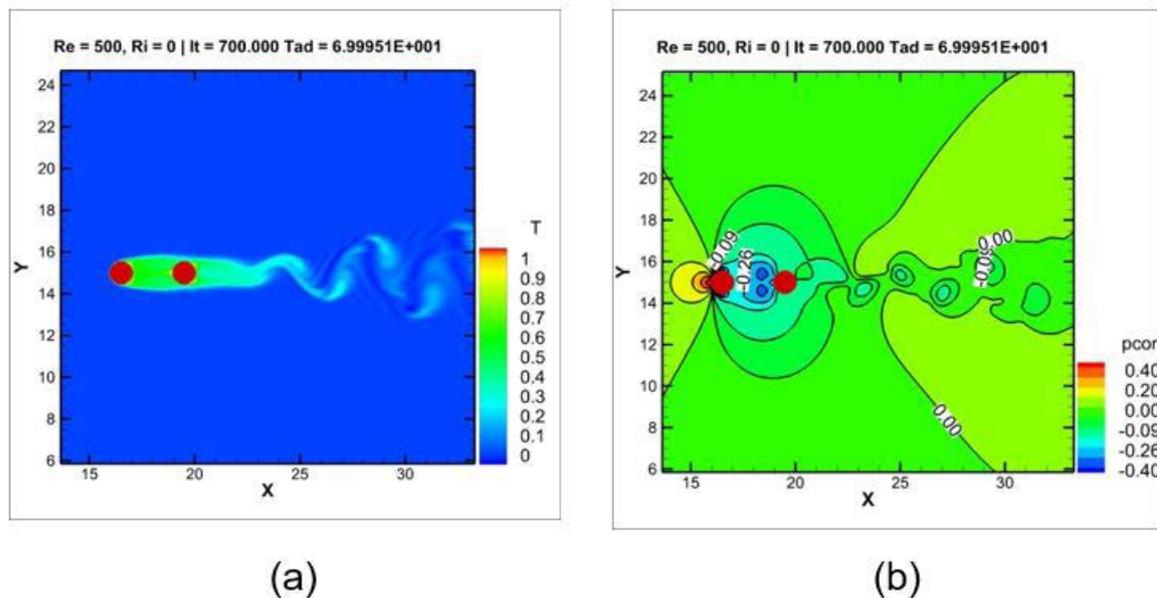
$$\begin{cases} C_{dp} = 2 \int_0^1 (p_f - p_r) dy, \\ C_{dv} = \frac{2}{Re} \int_0^1 \left[ \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_s + \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_i \right\} dx + \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_f + \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_r \right\} dy \right], \end{cases} \quad (35)$$

$$\begin{cases} C_{lp} = 2 \int_0^1 (p_i - p_s) dy, \\ C_{lv} = \frac{2}{Re} \int_0^1 \left[ \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_f + \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_b \right\} dx + \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_t + \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_i \right\} dy \right], \end{cases} \quad (36)$$

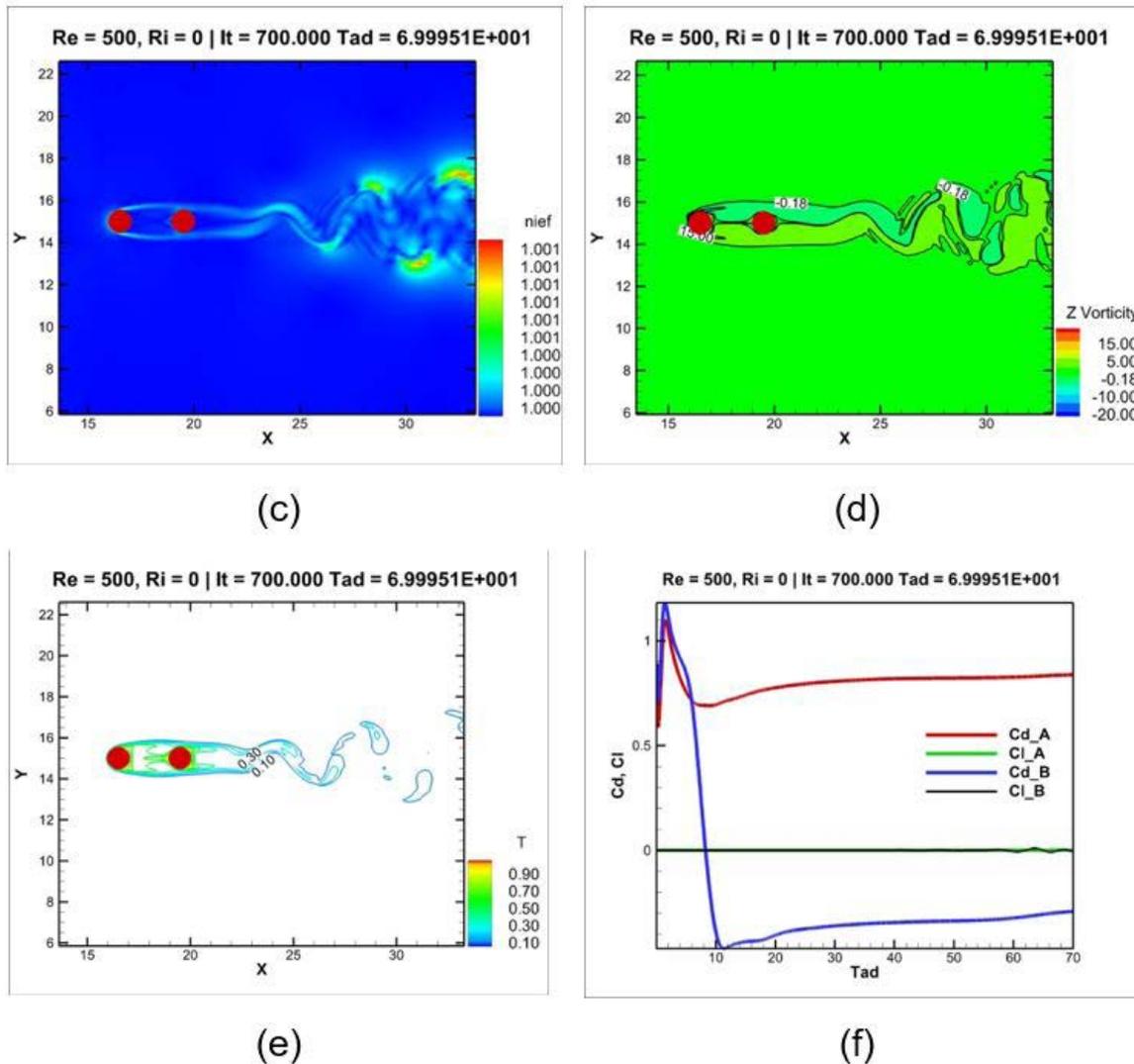
### Flow fields for $Re = 500$ and $Ri = 0$ in cylinders in tandem with forced convection

The **Figs. (2)** and **(3)** present simplified fields of temperature, pressure, effective viscosity, vorticity, isothermal lines, and aerodynamics coefficients,  $C_d$  and  $C_\ell$ , for the flow around cylinder tandem, for Reynolds and Richardson numbers, equals to 500 and 0, respectively.

**Figure 2 - Spalart-Allmaras model for simplified fields of (a) temperature, and (b) pressure for cylinders, for  $Re=500$  with  $Ri=0$ .**



**Figure 3 - Spalart-Allmaras model for simplified fields of (c) effective viscosity (d) vorticity (d) isotherms lines and Drag ( $C_d$ ) and Lift  $C_l$  coefficients for cylinders, for  $Re=500$  with  $Ri=0$ .**



The main results for the simulations can be summarized as follows:

- A wake forms upstream of the second cylinder, but it needs to be checked whether it can be decreased or suppressed with the increase of the distance between the cylinders;
- The isothermal lines reflect the same behavior of the pattern of the streamlines (current lines);
- The average Nusselt number increase for  $Re = 500$  for different value of  $Ri$ , even keeping the distance between the cylinders;
- The thermal buoyancy is suppressed in the recirculation zones of the tandem cylinders, even with a mounting angle;
- The thermal buoyancy tends to in the recirculation zones of the tandem cylinders, even with a mounting angle;
- The thermal buoyancy tends to increase the coefficient of drag and the average Nusselt number of the cylinder more than the second.

**Table 1- Flow parameters for  $Re=100,200$  and  $500$  compared to data available in the literature.**

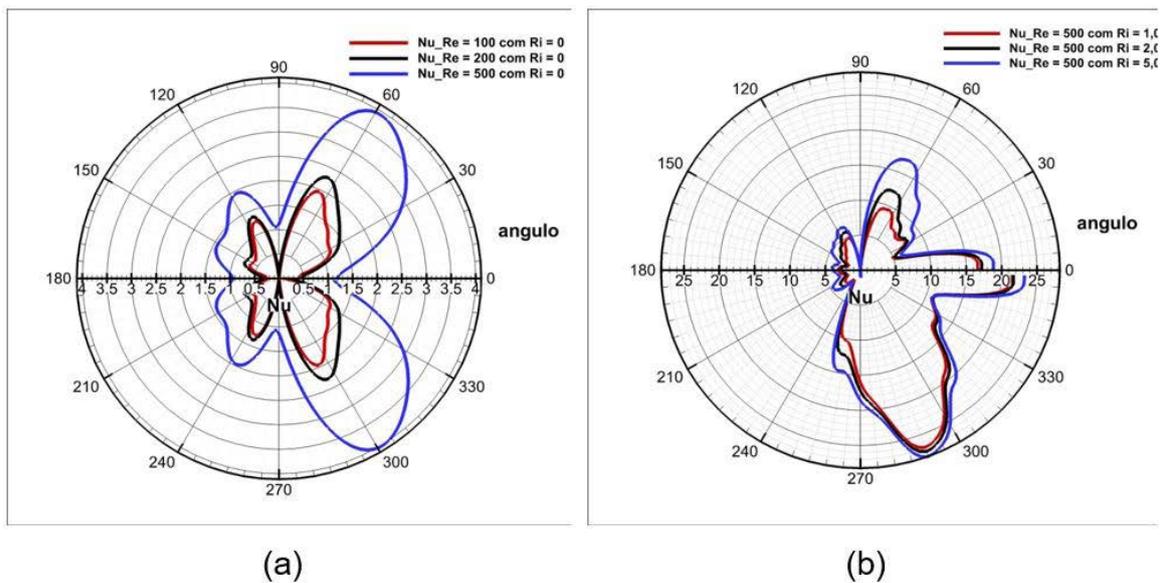
Re	$L_{cc}/d$	$C_{d,1}$	$C_{l,1}$	$St_m$	$C_{d,2}$	$C_{l,2}$
100	2	1,222	$\pm 0,0072$	-	$\pm 0,0008$	$\pm 0,0255$
	2,5	$1,386 \pm 0,011^a$	$\pm 0,37$	0,169	-0,075	0
	3	1,202	0	-	-0,045	$0,0011 \pm 0,004$
	4	$1,342 \pm 0,0243$	$\pm 0,475$	0,153	$0,761 \pm 0,200$	$\pm 1,452$
200		$1,03 \pm 0,0004$	$\pm 0,031$	-	$-0,18 \pm 0,0033$	$\pm 0,14$
	2	$0,89 \pm 0,05^b$	$\pm 0,20$	0,130	$-0,21 \pm 0,15$	-
		$1,03^c$	-	0,130	-0,17	-
	3	$1,048 \pm 0,021$	$\pm 0,026$	0,130	$-0,53 \pm 0,012$	$\pm 0,266$
500	3	$0,8041 \pm 0,015$	$\pm 1,343$	0,216	$-0,357 \pm 0,008$	$-4,715 \pm 0,008$

## Variations of the Nusselt number

One of the main purposes of the heat transfer calculations involving cylinders is to determine the local and total transfer around isothermal cylinders. The effect of the flow, especially with respect to the heat transfer, can be better observed by analyzing the local heat transfer coefficient, also known as the Nusselt local number. In the **Fig. (4)**, for different Richardson numbers, the distributions of Nusselt numbers along the perimeter of the upstream and downstream cylinders are provided. For  $L_{cc}/d = 3$ ,  $Re = 100$ ,  $Re = 200$  and  $Re = 500$ , for different Richardson numbers, the local distributions of the Nusselt numbers along the perimeter of the upstream and downstream cylinders are provided. For  $L_{cc}/d = 3$ , although the local profile of the Nusselt number of the upstream cylinder is similar to that of an isolated cylinder, the downstream cylinder has completely different characteristics, as the transfer rate is closely related to the flow, the local minimum rates of heat transfer appear at the front back stagnation points of the downstream cylinder, where the magnitude of velocities are relatively small.

This, in Fig. (4-(a)), the maximum heat transfer from the downstream cylinder is exhibited with a double protuberance in  $\theta \approx 57^\circ$  and  $\theta \approx 265^\circ$  from the cylinder wall, where thermal layers (also known as thermal plumes) and hydrodynamics becomes thinner. The formation of vortices in the downstream region of the cylinder coincides with the oscillations of the average Nusselt number from large amplitude to low amplitude during a vortex release period for  $L_{cc}/d = 3$  and  $Re = 500$  for different values of  $Ri$ , as see in Fig. (4-(b)). It is important to note that although the Nusselt's local distribution of the downstream cylinders resembles that of the upstream cylinder, typified as large protuberance, its magnitude is smaller than of the upstream cylinder, indicating smaller heat-to-cylinder conversion to downstream.

**Figure 4: Local variation of the Nusselt number to the same dimensionless instants: (a) -  $Re=100, Re=200$  and  $Re=500$  for  $Ri=0$  (forced convection) and (b) -  $Re=500$  for  $Ri=1.0, Ri=2.0$  and  $Ri=5.0$  (natural convection).**



## CONCLUSIONS

In this work, a boundary condition-enforced immersed boundary method is developed for simulations of heat and mass transfer problems. The effect of thermal boundaries in the flow and temperature fields considered through the velocity and temperature corrections. The temperature corrections is evaluated implicitly in such a way that the temperature at the immersed boundary, interpolated from the corrected temperature field, satisfies the physical boundary conditions.

For the momentum transfer between the immersed body and the surrounding fluid, the additional momentum forcing obtained by using the forcing term is added to the fluid-body equation. To model the turbulence, the Spalart-Allmaras models are used. The model of Spalart-Allmaras used the URANS concept, with only one transport equation for turbulence viscosity, being calibrated in pressure gradient layers.

A computational code was developed to implement the methodology mentioned herein in order to analyze the combination of the heat-transfer phenomena in the turbulence for the thermofluidodynamics interaction around isothermal immersed geometries. The agreement of the results with the available data in the literature validates the numerical method.

## REFERENCES

- Badr, H. M., & Dennis, S. C. R. (1985). Time-dependent viscous flow past an impulsively started rotating and translating circular cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 158, 447-488.
- Badr, H. M., Coutanceau, M., Dennis, S. C. R., & Menard, C. (1990). Unsteady flow past a rotating circular cylinder at Reynolds numbers 103 and 104. *Journal of Fluid Mechanics*, 220, 459-484.
- Sharma, V., and Dhiman A. K., Heat Transfer from a Rotating Circular Cylinder in The Steady Regime: Effects of Prandtl Number. *Thermal Science*, v.16, n.01, pp. 79-91, 2012.

Park, S. G., Chang, C. B., Kim, B. and Sung, H. J. (2017). Simulation of Fluid-Flexible Body Interaction with Heat Transfer. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 110, 20–33.

Santos, R. D., Gama, S.M., & Camacho, R. G. (2018). Two-Dimensional Simulation of the Navier-Stokes Equations for Laminar and Turbulent Flow around a Heated Square Cylinder with Forced Convection. *Applied Mathematics*, 9(03), 291–312.

Silva, A. L. E., Silveira-Neto, A. and Damasceno, J. J. R. (2003). Numerical Simulation of Two-Dimensional Flows over a Circular Cylinder using the Immersed Boundary Method. *J. Comput. Phys.*, 189, 351–370.

PESKIN, C. S. Numerical Analysis Of Blood Flow In The Heart. *Journal of Computational Physics*. v.25, pp. 220-252, 1977.

Juric, D., Computation of Phase Change, Ph. D. Thesis, Mech. Eng. Univ. of Michigan, USA, 1996.

Smagorinsky, J. (1963) General Circulation Experiments with the Primitive Equations: I. The Basic Experiment. *Monthly Weather Review*, 91, 99–164.

Spalart, P. & Allmaras, S. (1992). A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamics Flows. *Recherche Aerospaciale*, No. 1, 5–21.

Schneider, G. E.; Zedan, M. A Modified Strongly Implicit Procedure for the Numerical Solution of Field Problems. *Numerical Heat Transfer*, v. 4, n.01, pp. 1-19, 1981.

# Organizador

## Adriano Mesquita Soares

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

# Índice Remissivo

## A

*acidentes* 151, 152, 153, 154  
*aderência* 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88  
*agronegócio* 19, 65, 66  
*algodão* 156, 157, 158, 159, 161, 164, 168  
*algoritmos* 171, 172, 173, 181  
*ambiente* 16, 23, 26, 29, 30, 36, 40  
*analisar* 13, 26, 31  
*análise* 16, 20, 21, 32, 37, 45, 50, 55, 62, 87, 96, 99, 102, 103, 107, 110, 111, 115, 120, 127, 128, 130, 132, 133, 134, 135  
*anisotropia* 127, 129, 135  
*aparelhos* 26, 28, 32, 191, 192  
*arduino* 58, 60, 61, 63  
*asfálticas* 138, 139, 140, 141, 142, 147, 149  
*automação* 171, 172, 173, 177, 178

## B

*barreiras fitossanitárias* 65  
*biomassa* 13, 14, 16, 18, 27  
*braço* 182, 183, 184, 185, 188

## C

*chapisco* 72, 73, 74, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88  
*ciclo* 91  
*científicos* 58, 111, 127, 152  
*cimentício* 94  
*colaboradores* 151, 152, 153, 154  
*colapso* 127  
*colonizadores* 67  
*computacional* 170, 171, 172, 173, 178, 181  
*comunidades* 27  
*concreto* 74, 81, 83, 88, 91, 92, 100, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 121, 122, 123, 124, 125  
*confecção* 131, 157, 158, 168, 169  
*consórcios* 21  
*construção* 22, 23, 46, 58, 59, 73, 89, 90, 91, 95, 96, 105, 106, 107, 108  
*construção civil* 73

consumidores 13, 15, 22  
cooperativas 21  
cultivo 65, 66, 67, 68  
custos 22, 91, 95, 107, 110, 151, 153, 191, 192, 196

## D

demolição 23, 89, 90, 91, 95, 96, 105, 106  
desempenho 42, 45, 50, 54, 73, 74, 87, 89, 104, 106, 112,  
116, 123, 129  
desenvolver 58  
desenvolvidos 59, 171  
desenvolvimento 47, 58, 59, 96, 98, 151, 159, 160, 169,  
171, 172, 173, 177, 181

## E

economia 13, 22, 24, 26, 27, 32, 37, 40  
educacional 171, 183, 184  
eficiência 13, 15, 20, 22  
eficiência energética 13  
elastano 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 164, 165,  
166, 167, 168, 169  
elementos 73, 74, 75  
elétrica 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 22, 23  
eletricidade 17, 19, 20  
eletrônicos 32, 191, 192, 193  
empresa 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36,  
37, 38, 39, 40  
energética 13, 14, 15, 16, 18, 20, 24, 25, 26, 27, 28, 29,  
30, 31, 37, 40, 41  
energia 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24  
energia solar 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 24  
engenharia 43, 157  
eólica 14, 16, 18, 19, 27, 43, 45, 46, 47  
espaço 13, 22, 128  
estrutura 17, 47, 48, 74, 91, 92, 93, 110, 111, 112, 113,  
114, 115, 116, 119, 120, 124  
estruturais 74, 109, 110, 111, 112, 113, 120, 122, 123, 125  
experimental 29, 40, 58, 97, 126, 127, 136, 137  
exportação 65, 66, 67, 68, 70

## F

*fazendas solares* 12, 13, 15, 16, 19, 23

*ferramentas* 73

*fotovoltaica* 13, 15, 19, 23, 42, 43, 45, 47, 50, 51, 54, 56

*fotovoltaicos* 12, 13, 14, 15, 16, 20, 27

*fruticultura* 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

*frutíferas* 66, 68

## G

*geração* 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23

*geradores* 15

*graduação* 183

*grafite* 138, 139, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148

*granulometria* 73, 76, 77, 78, 86, 87

*granulométrica* 72, 76, 77, 78, 90, 94, 96, 97, 100, 101, 102, 106, 107

## H

*hidráulico* 93, 182, 183, 184, 185, 188, 189

*hidrelétricas* 14, 18, 28, 43, 45

*hídricas* 43, 45

## I

*impactos* 28, 90, 91

*indústria* 28, 74, 90, 151, 152, 154, 157, 158, 159

*industrial* 44, 62, 152, 153, 158, 171

## L

*lajes* 92, 110, 111, 114, 115, 119, 120, 121, 123, 124, 125

*legislação* 20

*ligações* 127, 128, 129, 135

*luminotécnica* 25, 26, 29, 30, 31, 38

# M

*malharia* 157, 158, 159, 169  
*material* 28, 46, 76, 77, 78, 90, 91, 93, 94, 95, 98, 102, 103, 105, 112, 113, 115, 122, 124, 127, 128, 129, 130, 135, 136  
*medidor* 58, 62, 63  
*método* 32, 35, 46, 47, 78  
*metodologias* 45, 97, 151  
*métodos* 27, 28, 31, 91, 111, 171  
*misturas* 90, 92, 101, 106, 139, 140, 141, 142, 143, 147, 149

# N

*norma* 26, 36, 37, 73, 77, 78, 93, 94, 95, 98, 99, 102, 104, 105

# P

*pacientes* 191, 192, 193, 195, 197  
*painéis* 12, 13, 20  
*painéis fotovoltaicos* 12, 13  
*patológicas* 73  
*pavimentação* 89, 90, 91, 93, 95, 105, 106, 107, 108, 139, 142, 144, 147, 148, 149  
*pavimento* 90, 91, 92, 93, 95, 97, 105  
*pesquisa* 22, 28  
*pesquisas* 31, 59, 87, 91, 111  
*potência* 21, 29, 30, 31, 32, 37, 40, 41, 53, 58, 59, 62  
*princípio* 44, 116, 182, 183, 184  
*processo produtivo* 158, 169  
*produtividade* 73, 110, 153, 183, 184  
*projetado* 74, 118, 119, 128  
*projeto* 21, 22, 26, 29, 31, 32, 38, 39, 40, 45, 50, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 93, 111, 113, 118, 145, 146, 147, 148, 172, 173, 183, 184, 185, 187, 188  
*propriedades* 73, 93, 94, 95, 127, 129, 130, 132, 135, 136, 138, 141, 142, 144, 145, 146, 156, 157, 158, 159, 160, 167, 168, 169  
*protensão* 110, 113, 115, 116, 117, 122, 124  
*protótipo* 58, 59, 61

## Q

*qualidade* 27, 28, 49, 58, 73, 90, 97, 110, 127, 139, 153, 157

## R

*reciclagem* 90, 91, 96, 105

*renovável* 19, 24, 40, 43, 44, 46, 55

*resistência* 73, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 93, 95, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105

*responsabilidade* 5

## S

*sanidade* 65

*segurança* 110, 129, 140, 151, 152, 153, 154, 155

*sistema* 5

*sistemas* 15, 19, 27, 44, 47, 49, 56, 58, 59, 107, 118, 124, 159, 171, 181

*solares* 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 23

*stakeholders* 21

## T

*técnica* 21, 59

*tecnológico* 44

*tensão elétrica* 58

*têxtil* 157, 158, 159, 168, 169

*transporte* 29, 65, 66, 69, 90, 107, 172, 193, 195

## U

*urbanização* 90

*usinas* 19, 21, 28, 43, 44, 45, 46

# V

*vigas* 111, 114, 115, 119, 120, 121, 125, 126, 127, 128,  
129, 130, 132, 133, 134, 135, 136

*visão* 170, 171, 172, 173, 174, 178, 181

