

revista **IPT**

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

24

v. 7, n. 24, dez., 2023



AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

Software para aquisição automática dos dados das medições

METODOLOGIA NA METROLOGIA

Ferramenta para estimativa de incerteza em medidores de pH

SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Avaliação de estrutura em dissipadores de calor

ipt[•]
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

ENSINO TECNOLÓGICO



revista **IPT**

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

v.7, n.24, dezembro, 2023

Quadrimestral

Editores-chefes

Eduardo Luiz Machado

Andreia Longuinho da Silva

José Maria de Camargo Barros

Conselho Editorial

Eduardo Luiz Machado

Silas Derenzo

Assistentes Editoriais

Denis Martins Lemos

Flavio Sergio Jorge de Freitas

João Antonio Rodrigues Garcia

Mariana Mesa Varon

ISSN 2526-5830

Copyright© IPT. Todos os direitos reservados. Todos os textos, imagens, gráficos, e outros materiais são protegidos por direitos autorais e outros direitos de propriedade intelectual pertencentes ao IPT. A reprodução dos textos da Revista IPT somente será permitida para fins didáticos e de pesquisa, desde que com a citação deste material. Proibida a reprodução total ou parcial, com intuito de lucro direto ou indireto, por qualquer meio ou processo.

Créditos técnicos

DIAGRAMAÇÃO E ARTE:

Silvia Megumi Mizoguti Padovani

REVISÃO:

Eduardo Luiz Machado

José Maria de Camargo Barros

sapiens.ipt.br

revista@ipt.br

Av. Prof. Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - Butantã
05508-901 - São Paulo - SP

ISSN 2526-5830



na capa
Imagem banco
de fotos Canva

#24

revista IPT
T E C N O L O G I A E I N O V A Ç Ã O

SUMÁRIO

artigos técnicos

-
- 06 **Análise da Dinâmica de Fluidos Computacionais na Utilização de Ondulações e Cavidades nas Aletas de um Dissipador de Calor para Escoamento Laminar.**
Autores: Gustavo Roncari da Silva, Efraim Cekinski
-
- 27 **Planejamento multidimensional em projetos de construção típicos**
Autores: Arnaldo Massao Shima Júnior, Eduardo Luiz Machado
-
- 52 **Análise dos resultados operacionais decorrentes da implementação do software de aquisição automática dos dados das medições**
Autores: Gregory Muller Taccola, Manuel Antônio Pires Castanho
-
- 61 **Uma Proposta de Metodologia para Estimativa de Incerteza de Medição em pH**
Autores: Fabrício Gonçalves Torres, Diogo Cesar Borges Silva, Marcel Joly
-
- 80 **Regulamentações técnicas e seus fatores de contorno: nutriente açúcar como exemplo de caso**
Autores: Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo, Luciana Casciny Pacífico, Olga Satomi Yoshida

CLIMÃO!

A vigésima quarta edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação' chega aos leitores e leitoras em clima de COP 28 – Conferência de Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas – que se realiza em Dubai, nos Emirados Árabes Unidos, de 30 de novembro a 12 de dezembro. O Brasil participa deste evento global e o IPT integra a missão brasileira, atendendo um convite do Itamaraty, com oportunidade para posicionar-se junto a instituições e governos dos demais países. O Instituto leva na bagagem projetos relevantes com foco em questões ambientais, sustentabilidade e bionegócios em parceria com o CBA/ Manaus. Será uma preparação para a participação na COP 29 e, especialmente, na COP 30 que será realizada em Belém.

Confira a seleção de artigos desta edição.

Na abertura, em “Análise da dinâmica de fluidos computacionais na utilização de ondulações e cavidades nas aletas de um dissipador de calor para escoamento laminar”, verificam-se possibilidades dessas cavidades e ondulações contribuir para diminuir a temperatura em circuitos eletrônicos. Seus autores são Gustavo Roncari da Silva (Fatec/SP) e Efraim Cekinski (IMT), ambos do Mestrado Profissional em Processos Industriais do IPT.

Na sequência o artigo “Planejamento multidimensional em projetos de construção típicos”, de Arnaldo Massao Shima Júnior e Eduardo Luiz Machado, ambos do Mestrado Profissional em Processos Industriais do IPT. Os autores apresentam um modelo híbrido que integra previsão meteorológica e custo da construção indexado ao INCC. Resultou em melhor previsibilidade de prazos e custos em uma obra.

Artigo de Gregory Muller Taccola e Manuel Antônio Pires Castanho, ambos do Laboratório de Metrologia Mecânica do IPT, apresenta resultados operacionais de projeto para desenvolvimento e implementação de um software para aquisição automática dos dados em medições. É intitulado “Análise dos resultados operacionais decorrentes da implementação do software de aquisição automática dos dados das medições”.

“Uma proposta de metodologia para estimativa de incerteza de medição em pH” é o título do artigo de Fabrício Gonçalves Torres e Marcel Joly (Arsesp), ambos do Mestrado Profissional em Processos Industriais do IPT, e Diogo Cesar Borges Silva, do Laboratório de Metrologia Elétrica do IPT.

Esta edição fecha com o artigo “Regulamentações técnicas e seus fatores de contorno: nutriente açúcar como exemplo de caso”. Nele as autoras Maria Luiza Otero D’Almeida Lamardo, Luciana Casciny Pacífico e Olga Satomi Yoshida, da unidade de negócios Tecnologias Regulatórias e Metrológicas do IPT, sugerem uma base de informações para a elaboração de regulamentações referentes ao açúcar. Constataram na literatura pesquisada que a preocupação em diminuir o consumo do produto é uma tendência global.

Boa leitura!

*Eduardo
L. Machado*

Eduardo Luiz Machado
Diretor Técnico em Ensino Tecnológico



Artigo Técnico

Análise da Dinâmica de Fluidos Computacionais na Utilização de Ondulações e Cavidades nas Aletas de um Dissipador de Calor para Escoamento Laminar.

Analysis of computational fluid dynamics in the use of dimples and waves in the fins of a heat sink for Laminar Flows.

Gustavo Roncari da Silva^{ab*}, Efraim Cekinski^{cd}

^a Mestrado Profissional em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo . São Paulo - SP, Brasil.

^b Docente Auxiliar da Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. São Paulo - SP, Brasil.

^c Docente do Curso de Mestrado Profissional em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo . São Paulo - SP, Brasil.

^d Docente do Instituto Mauá de Tecnologia. São Paulo-SP, Brasil.

*e-mail:

gustavoroncari@yahoo.com.br
gustavoroncari@fatecsp.br

Palavras-chave: dissipador de calor; cavidade; ondulada; dinâmica dos fluidos computacional; transferência de calor.

Keywords: Heat Sink; Dimple; Waved; CFD; Corrugated.

Resumo

O dissipador de calor é um componente muito utilizado em dispositivos eletrônicos para diminuir a temperatura de operação e, com isso, minimizar a taxa de falha desses dispositivos. A maior parte dos dissipadores é fabricada com paredes finas e lisas denominadas de aletas, que não apresentam cavidades nem ondulações. O objetivo do presente trabalho foi verificar se a presença de cavidades e ondulações nas aletas pode contribuir para aumentar a taxa de transferência de calor por convecção forçada em regime laminar e, como consequência, diminuir a temperatura dos circuitos eletrônicos.

O trabalho foi efetuado por meio de simulação numérica com auxílio do programa computacional ANSYS Fluent®. Compararam-se as aletas lisas com aquelas contendo cavidades e ondulações. Foi verificado que para aletas contínuas no regime de escoamento laminar é necessário levar em conta a área de superfície bem como a queda de pressão do ar entre a entrada e a saída do dissipador. Maior queda de pressão faz com que parte do ar saia do canal do dissipador antes do seu final, o que diminui a taxa de transferência de calor. A menor queda de pressão encontrada no modelo de aleta lisa fez superar o efeito da sua menor área de superfície e como consequência, forneceu a menor temperatura entre todos os dissipadores. Dentre os modelos de aletas contínuas não lisas, o que contém ondulação forneceu a menor temperatura pois sua maior área de superfície superou o efeito negativo da queda de pressão.

Abstract

The heat sink is a component widely used in electronic devices to reduce the operating temperature and, therefore, minimize the failure rate of these devices. Most heatsinks are manufactured with thin, smooth walls called fins, which do not have cavities or ripples. The objective of the present work was to verify whether the presence of cavities and ripples in the fins can contribute to increasing the heat transfer rate by forced convection in a laminar flow and, as a consequence, reducing the temperature of the electronic circuits.

The work was carried out through numerical simulation with the aid of the computer program ANSYS Fluent®. Smooth fins were compared with those containing cavities and ripples. It was found that for continuous fins in the laminar flow regime it is

necessary to consider the surface area as well as the air pressure drop between the inlet and outlet of the heatsink. Greater pressure drops causes part of the air to leave the heatsink channel before its end, which reduces the heat transfer rate. The lower pressure drop found in the smooth fin model overcame the effect of its smaller surface area and, as a consequence, provided the lowest temperature among all heatsinks. Among the non-smooth continuous fin models, the one containing corrugation provided the lowest temperature because its greater surface area overcame the negative effect of the pressure drop.

1 Introdução

A invenção do transistor em 1948 concebeu o processador que tornou possível o computador pessoal atualmente, com isso, uma série de progressos científicos levaram à miniaturização dos sistemas eletrônicos. Concomitantemente à redução de tamanho dos sistemas eletrônicos, os processadores ficam mais rápidos e assim geram mais energia térmica. Em 1965, o Dr. Gordon E. Moore apresentou um artigo com previsão de que a quantidade de transistores em um único circuito integrado dobraria a cada dois anos. Agora, mais de 57 anos depois, constata-se que sua previsão foi incrivelmente precisa e deve continuar assim nas próximas décadas (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

Sistematicamente, muitas criações da tecnologia da informação são possibilitadas graças aos progressos da engenharia térmica que asseguram um controle térmico preciso, inclusive para problemas de diversas escalas. A temperatura é responsável por promover respostas nos sistemas, com isso, delimita as fronteiras de segurança da operação (MORAN *et al*, 2000).

O principal responsável pela diminuição da temperatura de operação do processador é o dissipador de calor, cuja função é dissipar efetivamente o calor (energia térmica) gerado nos dispositivos eletrônicos, utilizando para esse fim superfícies estendidas, conhecidas como aletas. Dissipadores de calor são usados em uma ampla gama de aplicações nas quais é necessária uma troca de calor eficiente: satélites, radares, mísseis, aeronaves, células de energia solar, navios, motores térmicos e dispositivos eletrônicos, em geral. O projeto mais comum de um dissipador de calor é um dispositivo metálico

com muitas aletas de resfriamento, conhecido como matriz de aletas. O alumínio é geralmente empregado em sua construção, oferecendo um bom equilíbrio entre peso, custo e propriedades térmicas (BERGMAN *et al*, 2019; ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

O mercado global de dissipadores de calor deve atingir US\$ 9,77 bilhões até 2026. Estima-se que esse mercado cresça a um *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) de 7,4% até 2026. O CAGR refere-se à Taxa Anual Composta, um dos índices de avaliação de investimento mais conhecidos e utilizados no mercado.

Cada vez mais há o desenvolvimento de produtos de menores dimensões e com isso, a exigência da dissipação de calor aumenta, em especial para as indústrias eletrônica, automobilística e de energias renováveis. Avanços na tecnologia de microprocessadores estão, no momento, limitados principalmente pela capacidade de resfriar estes minúsculos dispositivos.

Embora tenham sido feitos progressos impressionantes nas últimas décadas, permanecem sérios os desafios técnicos no gerenciamento térmico e controle de dispositivos eletrônicos ou microprocessadores para a remoção adequada do calor gerado, pois altas taxas de geração de calor resultam em altas temperaturas de operação nos equipamentos eletrônicos, o que compromete sua segurança e confiabilidade. É conhecido que a taxa de falhas de equipamentos eletrônicos aumenta exponencialmente com a elevação da temperatura (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Devido à crescente taxa de geração de calor, apenas o dissipador de calor que opera com convecção natural não consegue ser eficaz na redução das temperaturas, por isso, necessita de sistemas auxiliares para promover a convecção forçada de ar, como ventoinhas, tubos de calor, refrigeração por líquido e jato de ar impingente. Neste sentido, o presente trabalho visa colaborar para tornar o projeto de dissipadores mais eficiente e que possa ser utilizado em dispositivos eletrônicos cada vez mais complexos.

O objetivo do presente trabalho foi verificar se a presença de aleta em tiras e presença de cavidades e ondulações nas aletas dos dissipadores de calor podem aumentar a troca de calor por convecção forçada em escoamento laminar e, como consequência, diminuir a temperatura dos circuitos eletrônicos. Isso foi feito por meio de comparação entre um dissipador de aleta contínua e três dissipadores com modificações na geometria, um com aleta com cavidades, um com aleta em tiras e cavidade e um com aleta com ondulações.

De acordo com Alves e colaboradores (2021), a utilização de dissipador com ventoinha provoca uma redução na temperatura da fonte de calor de 42%, enquanto o dissipador sozinho provoca uma redução de 26% e a utilização da ventoinha sem o dissipador causa uma diminuição de apenas 8%.

Fonseca (2020) realizou investigações experimentais e numéricas de modo a obter as características do escoamento e da transferência convectiva de um dissipador com aleta contínua retangular e outro com aletas em tiras. Estabelecendo um escoamento forçado paralelo à base do dissipador, observou que, para as mesmas faixas experimentais, a efetividade do dissipador com aletas em tiras foi nitidamente maior.

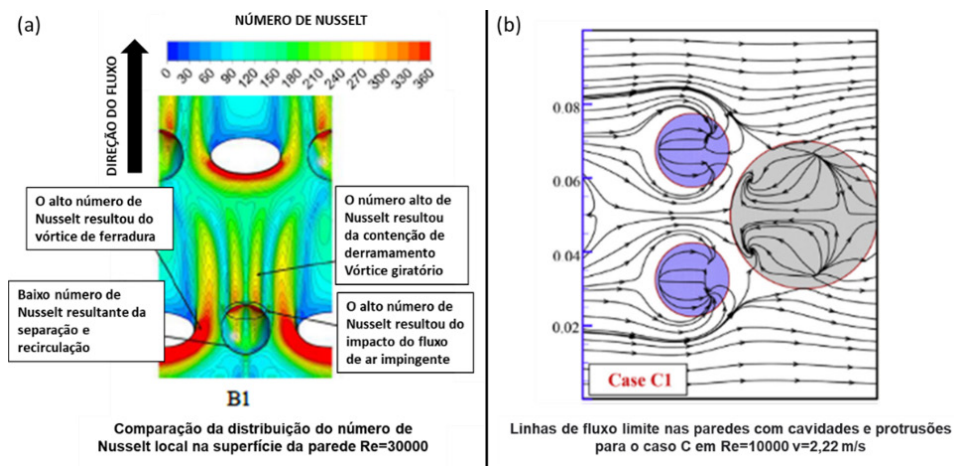
Reis (2018) realizou mudanças na geometria de um dissipador de micro canais aletados, especificamente em sua altura, obtendo melhores desempenhos na transferência de calor. Observou-se também que micro canais ondulados, apesar de aumentarem a área de contato, só possuem melhor desempenho para números de Reynolds altos.

Um estudo realizado por Perwez e Kumar (2019) comparou os resultados numéricos e experimentais para analisar o desempenho da transferência de calor de um dissipador de cavidade esférica e um dissipador de cavidade em forma de lágrima inclinada para um número de Reynolds variando de 1800 a 7000. Os resultados mostraram que o dissipador com cavidade em forma de lágrima inclinada exibe a maior transferência de calor, cerca de 8,6% maior do que o dissipador de calor com cavidade esférica e 12,99% melhor do que o dissipador sem cavidade. O benefício da cavidade na parede da aleta dá-se devido à grande formação de vórtices na cavidade, aumentando o tempo de interação entre o fluido e a superfície, o que melhora a transferência de calor.

Gupta, Kumar e Patil (2019) estudaram a transferência de calor e o desempenho do escoamento de um dissipador de calor através da inclusão de cavidades na superfície das aletas para números de Reynolds variando de 6800 a 15200. Os autores também estudaram a influência da razão da profundidade da cavidade (D/d) e a razão do passo entre as cavidades (s/d) na eficiência da transferência de calor. Concluíram que a transferência aumenta quando a razão de passo (s/d) diminui e a razão de profundidade (D/d) aumenta. Assim, obtiveram pontos ótimos para (s/d) de 2,5 e relação de profundidade de cavidades (D/d) de 0,5.

Luo e colaboradores (2019) estudaram a transferência de calor de um canal retangular com inclusão de pinos e cavidades com diferentes profundidades. Para isso, nove situações diferentes foram analisadas. Chegaram à conclusão de que os canais com aletas de pino elíptico mostram o melhor desempenho térmico. Verificou-se que o aumento máximo para canais com cavidades circulares e aletas de pino elíptico é 109,6% no fator de área de superfície e 15,0% no fator de volume, em comparação com o canal que possui aletas de pino circulares e cavidades. Devido à inclusão de pinos elípticos nas proximidades da cavidade, consegue-se a presença do vórtice ferradura (horse-shoe) que em muitos estudos mostram ser o mais benéfico para a transferência de calor. Além disso, varia-se a relação de profundidade e diâmetro da cavidade em conjunto, obtendo a melhor relação apresentada pelo (Caso B1), mostrado na **FIGURA 1.1 item (a)**.

Figura 1.1 – Análise da inclusão de cavidades e protusões



Fonte: (a) Adaptado de Luo e colaboradores (2019) e (b) adaptado de Liu e colaboradores (2015).

No estudo de Liu e colaboradores (2015), encontra-se a análise do fluxo de calor associando cavidades com protrusões secundárias de menor diâmetro. Os principais parâmetros considerados são razões de altura e localizações relativas de protrusões secundárias colocadas à montante da ondulação. Como resultado, obtém-se que a transferência de calor pode ser aprimorada caso incremente-se a altura das protrusões secundárias. As estruturas de vórtice formadas à jusante das saliências secundárias permanecem eficazes e se desenvolvem na depressão primária se as saliências secundárias estiverem localizadas perto da linha central, conforme **Figura 1.1 item (b)**.

As vantagens do aumento da transferência de calor para um canal com cavidades e inclusão de protruções são evidentes, porém, deve-se ter cuidado, pois o parâmetro de perda de pressão e fator de atrito podem ser aumentados, prejudicando a transferência de calor.

2 Procedimento metodológico

2.1 Materiais e Equipamentos

Foi utilizado um computador com processador Intel(R) Core (TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz e 16 GB de memória ram e uso do programa computacional ANSYS Fluent® versão 2021.

2.2 Métodos Adotados

Para resolução do problema foi utilizada a simulação por meio da dinâmica dos fluidos computacional (CFD) com auxílio do programa ANSYS FLUENT®.

O complexo sistema de equações governamentais do problema é resolvido no domínio geométrico dividido em pequenos volumes, comumente conhecidos como malhas, que contam com critérios de convergência de modo a se alcançar resultados próximos ao problema real (NETO *et al*, 2019).

2.3 Ferramentas Utilizadas

Para realização das simulações em CFD, utilizou-se as seguintes ferramentas computacionais:

- para o desenho da geometria em três dimensões, foi utilizado o Solidworks®, uma ferramenta de desenho assistida por computador ou *Computer Aided Design (CAD)*;

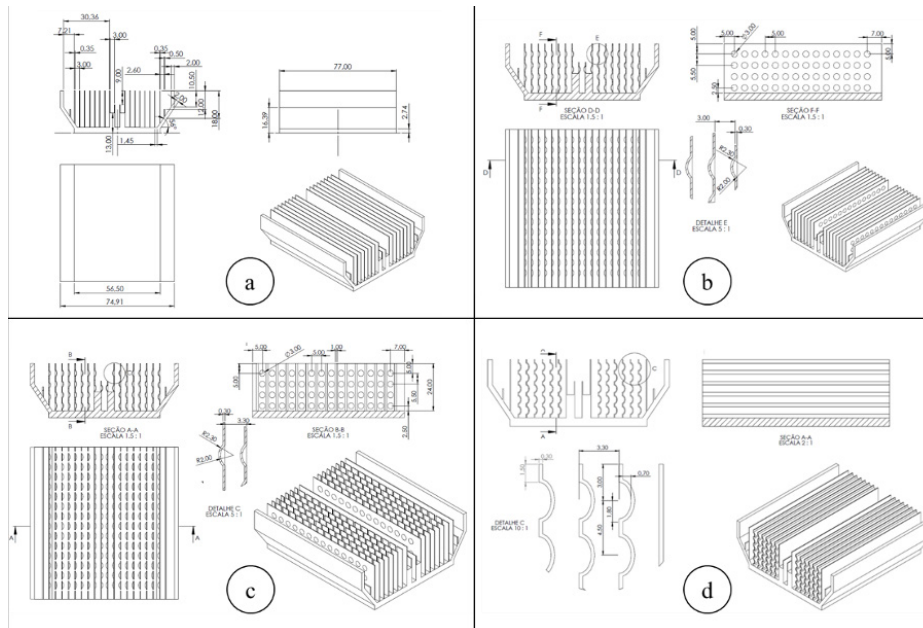
- apropriado para simplificação e preparação da geometria para realização da simulação, o programa computacional SpaceClaim® (ferramenta CAD oferecida pela ANSYS®) foi utilizado. Com esta ferramenta, é possível realizar a criação do invólucro de domínio fluido, definição das áreas de entrada e saída, além da definição de zonas para refino de malha.
- o programa FluentMesh® (ferramenta da ANSYS®) foi utilizado para geração da malha; e
- o programa Fluent® (pacote ANSYS®) foi utilizado para resolução do problema e interpretação dos resultados. Nesta etapa, define-se o correto modelamento do problema, condições de contorno, escolha de regimes permanente ou transitório, além das características dos materiais e fluidos.

2.4 Modelagem em CAD dos modelos estudados

O modelo em CAD do dissipador comercial, modelo (a), foi obtido através da medição da peça real, simplificando alguns detalhes da geometria para facilitar a modelagem em CFD, como chanfros e arredondamentos pequenos. Foram desprezados os sistemas de refrigeração auxiliar, como os tubos de calor (heat pipes). A **FIGURA 2.1** representa os seguintes dissipadores:

- **modelo (a)** - refere-se ao dissipador comercial CK AM-209;
- **modelo (b)** - refere-se a modelo do dissipador com superfície de aleta com cavidades com diâmetro de 3 mm e passo de 5 X 5,5 mm;
- **modelo (c)** - refere-se a modelo do dissipador com superfície de aleta em tiras com cavidades com diâmetro de 3 mm e passo de 5 X 5,5 mm; e
- **modelo (d)** - refere-se a modelo do dissipador com superfície de aleta ondulada na direção do perfil com diâmetro de 3 mm X profundidade de 0,7 mm e passo de 4,5 mm.

Figura 2.1 – Dimensões dos modelos de dissipadores



Fonte: elaborado pelos autores

Essas geometrias originam diversos parâmetros construtivos apresentados na **Tabela 2.1**.

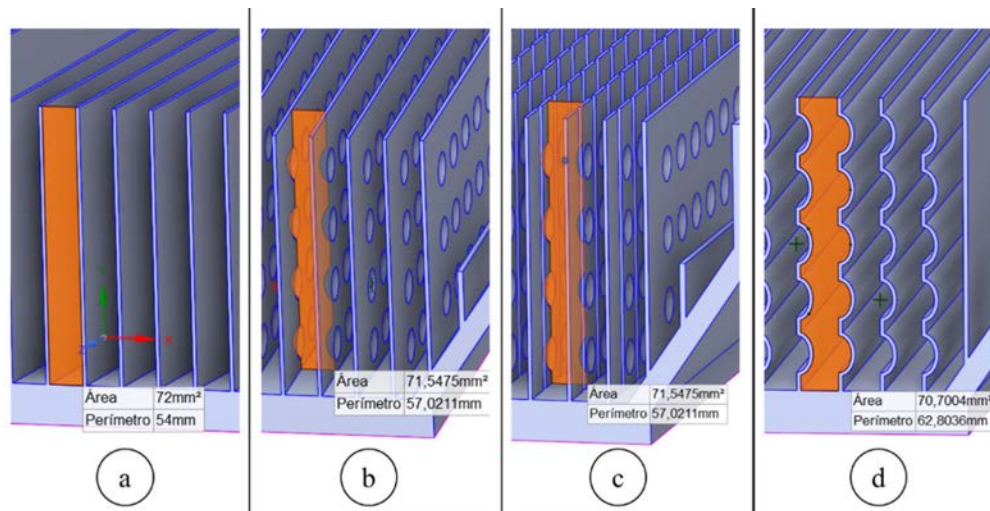
Tabela 2.1 – Parâmetros construtivos dos dissipadores analisados.

Parâmetros	modelo (a)	modelo (b)	modelo (c)	modelo (d)	Unidades
Área do Canal	72	71,55	71,55	70,7	mm ²
Perímetro molhado	54	57,02	57,02	62,8	mm
Comprimento da aleta	0,077	0,077	0,077	0,077	m
Área de Superfície	0,080	0,082	0,076	0,088	m ²
Volume	37867,87	38263,90	36940,90	39068,97	mm ³
Dh	5,33	5,02	5,02	4,50	mm

Fonte: elaborado pelos autores

A **Figura 2.2** mostra como foram obtidas a área do canal e o perímetro molhado de cada um dos modelos.

Figura 2.2 – Área do canal e perímetro molhado dos modelos estudados



Fonte: elaborado pelos autores

Alguns parâmetros construtivos podem influenciar a transferência de calor do dissipador. Quanto maior a área de superfície, maior a capacidade potencial de dissipação, pois a troca de calor é proporcional a essa área como pode ser visto na lei de Newton de resfriamento para convecção ou na lei de Fourier na condução (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Portanto, a princípio, espera-se que o modelo (d) seja o mais eficiente.

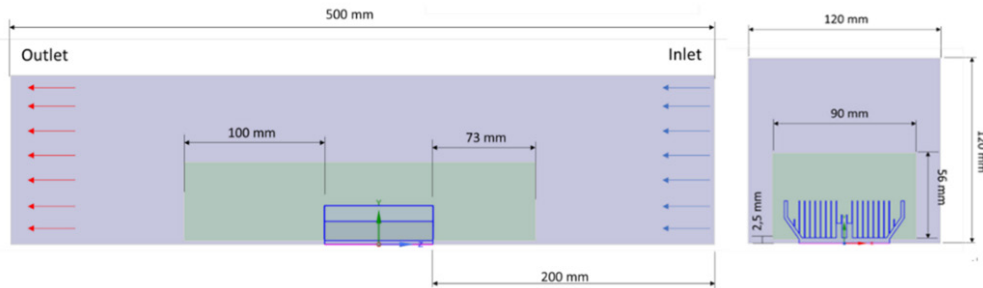
O perímetro molhado é o perímetro de contato entre a parte interna no dissipador e o ar, considerando a base e paredes. Também neste caso, quanto maior o perímetro molhado, maior é a tendência de transferência de calor.

O diâmetro hidráulico é equivalente ao diâmetro para tubos circulares. Quanto menor esse parâmetro, maior é a perda de carga dentro do dissipador. O modelo (a) é construído com placa lisa e fornece o maior D_h , enquanto o modelo (d), devido às ondulações, apresenta o menor D_h . O comprimento da aleta afeta a transferência de calor pois influi diretamente na área de superfície. Aletas mais longas aumentam a taxa de transferência de calor. Neste trabalho, o comprimento de todas as aletas foi o mesmo.

2.5 Modelagem em CFD

Os dissipadores foram simulados no ANSYS®, adaptando-se o modelo de túnel apresentado por Maschietto, (2018), de acordo com a área de refino apresentada na FIGURA 2.3.

Figura 2.3 – Dimensões do invólucro e área de refino do dissipador estudados



Fonte: adaptado pelos autores

2.6 Geração da malha

Após a importação da geometria do dissipador que estava no Solidworks® para o SpaceClaim®, efetua-se o processo de criação do invólucro, zonas de refino de malha, compartilhamento de topologia entre o dissipador e o invólucro, nomeação das faces de entrada e saída. Na sequência, a geometria é exportada para o FluentMesh® para definição do tamanho dos elementos de malha, conforme TABELA 2.2 sendo que o tamanho de malha do corpo do dissipador variou de 5 a 0,75 mm dependendo da complexidade de geometria.

Tabela 2.2 – Parâmetros utilizados nas zonas de refino de malha.

Definições de controle de malha	Invólucro	Dissipador	Refino
Tipo de controle de tamanho	Tamanho de Face	Tamanho de Corpo	Corpo de influência
Taxa de crescimento	1,2	1,2	1,2
Tamanho da malha (mm)	20	5	1

Fonte: adaptado pelos autores

A **TABELA 2.3** apresenta características importantes das malhas obtidas. O elemento de malha predominante foi o poliedro, escolhido por gerar uma malha leve e mais precisa do que o tetraedro.

Tabela 2.3 – Parâmetros utilizados na geração da malha de superfície.

Geração de superfície de malha	Definições
Tamanho mínimo	1
Tamanho máximo	16
Taxa de crescimento	1,2
Funções de tamanho	Curvatura & Proximidade
Ângulo de curvatura normal	18
Cells per Gap	4
Escopo de proximidade	arestas

Fonte: adaptado pelos autores

De acordo com Maschietto (2018), para iniciar uma malha refinada, os valores usuais para o tamanho dos elementos são da ordem de 1/20 das dimensões do invólucro ou canal. Portanto, os parâmetros utilizados estão de acordo, sendo limitados pelo recurso computacional. Na **TABELA 2.4**, é possível observar as estatísticas da malha.

Tabela 2.4 – Estatística da malha.

Parâmetros	modelo (a)	modelo (b)	modelo (c)	modelo (d)
nós	4.228.904	5.624.790	7.245.914	11.961.994
arestas	20.564	66.088	118.989	112.538
faces	8.836.425	11.507.105	14.219.678	20.043.072
células	2.412.402	3.067.669	3.684.986	4.586.375
Skewness (assimetria) (média)	0,224	0,103	0,165	0,078
Aspect Ratio (média)	3,980	4,415	7,089	3,287
Ortogonalidade (média)	0,105	0,106	0,167	0,081

Fonte: adaptado pelos autores

De acordo com Modesto (2022), recomenda-se manter o valor mínimo de ortogonalidade superior a 0,1, a assimetria máxima inferior a 0,95 e *Aspect Ratio* inferior a 40. O *Aspect Ratio* refere-se à relação entre as dimensões de uma malha ou grade utilizada para discretizar o domínio de uma simulação. O *Aspect Ratio* é uma medida adimensional que ajuda a descrever a forma ou a relação entre o comprimento, a largura e a altura de uma célula ou elemento da malha. Entretanto estes valores podem variar conforme a física da simulação e a localização das células.

2.7 Condições de Contorno

Após a geração da geometria exporta-se para o solucionador do Fluent®, onde foram definidas as condições de contorno, modelos de turbulência, seleciona-se o método de resolução, os controles e os erros residuais.

Conforme mostrado na **TABELA 2.5.**, em todas as simulações, o dissipador foi de alumínio e o ar foi considerado um gás ideal, ambos selecionados pela biblioteca do programa computacional, sem nenhuma alteração de parâmetros.

Tabela 2.5 – Propriedades dos materiais.

Propriedades	Ar	Alumínio
Densidade (kg/m ³)	1,23	2,719
Calor específico (J/(kg.K))	1.006	871
Condutividade térmica (W/(m.K))	0,02	202,4
Viscosidade dinâmica (kg/(m.s))	1.80E-05	-

Fonte: adaptado pelos autores

Em seguida, foram definidas as condições de contorno de entrada e saída. A área de entrada do ar da ventoinha é de 120 mm x 120 mm. Como a vazão de uma ventoinha varia 85 m³/h a 105 m³/h, a velocidade de entrada do ar foi considerada um valor de 2 m/s (Vazão/Área). A temperatura de saída foi considerada 5 °C acima da temperatura de entrada para agilizar a convergência da solução.

Na base do dissipador foi considerada uma área de 30 mm X 30 mm, onde a potência de entrada do processador fica em 65 W, baseado em um processador intermediário.

2.8 Definição do Escoamento

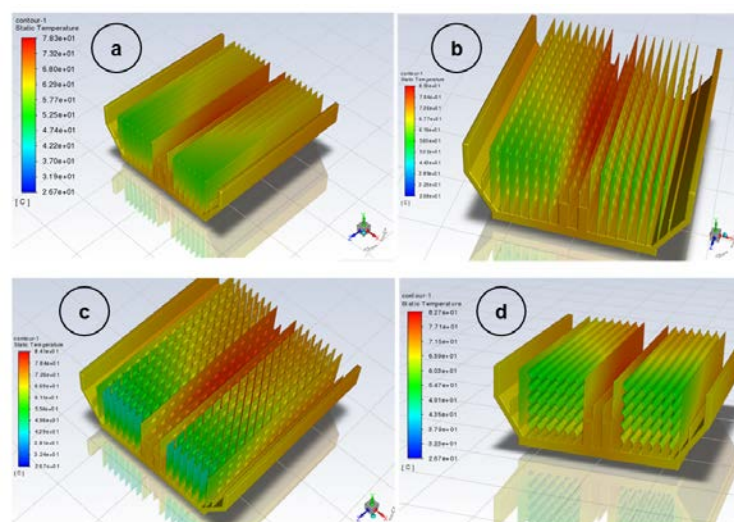
Para escoamento laminar, a solução direta das Equações de Navier-Stokes é suficiente e nenhum modelo de turbulência é necessário (NETO; PUREZA, 2019).

Apesar da maior parte dos trabalhos da literatura utilizar o regime de escoamentos turbulento, foi constatado que o regime correto a ser utilizado no presente caso é o laminar, devido ao valor de velocidade encontrado de 2 m/s. As simulações utilizaram regime permanente e convecção forçada em todos os casos.

3 Resultados e discussão

A FIGURA 3.1 apresenta o contorno das temperaturas nos modelos analisados. A escala de temperatura se encontra ao lado de cada dissipador. A coloração mais próxima do vermelho indica maior temperatura e a mais próxima do azul, menor temperatura. Em todos os casos, as menores temperaturas dos dissipadores encontram-se na parte frontal onde há a maior transferência de calor, pois o ar frio tem o primeiro contato com o dissipador quente. Depois, com o aquecimento do ar dentro do dissipador, a diferença de temperatura entre o ar e o dissipador diminui e por consequência, a troca de calor se reduz. Isso explica a coloração esverdeada no início e mais avermelhada no final do dissipador.

Figura 3.1 – Quadro comparativo da distribuição de temperatura dos modelos analisados.



Fonte: adaptado pelos autores

Para analisar a eficiência dos dissipadores, foi verificado no ANSYS Fluent®:

- a temperatura média nos dissipadores, por meio do cálculo da integral da temperatura no volume dos dissipadores dividido pelo volume total;
- a temperatura média da superfície inferior do dissipador que está em contato com o processador, representando a temperatura do processador; e
- a queda de pressão nos dissipadores, obtida pela diferença da média das pressões nos planos de entrada e de saída do dissipador.

Esses valores junto com os obtidos para a área de superfície e mostrados na **TABELA 2.1** estão apresentados na **TABELA 3.1**.

Tabela 3.1 – Área de superfície, temperaturas médias, queda de pressão e área de superfície nos dissipadores de calor e temperatura nos processadores

Dissipador	Temperatura do processador (°C)	Temperatura do dissipador (°C)	Queda de Pressão (Pa)	Área de superfície (mm ²)
Modelo (a) (aletas contínuas)	76,25	68,99	0,612	0,080
Modelo (b) (aletas com cavidade)	82,84	75,11	0,653	0,082
Modelo (c) (aletas em tiras com cavidade)	81,53	73,54	0,733	0,076
Modelo (d) (aletas com ondulações)	80,23	72,30	0,703	0,088

Fonte: adaptado pelos autores

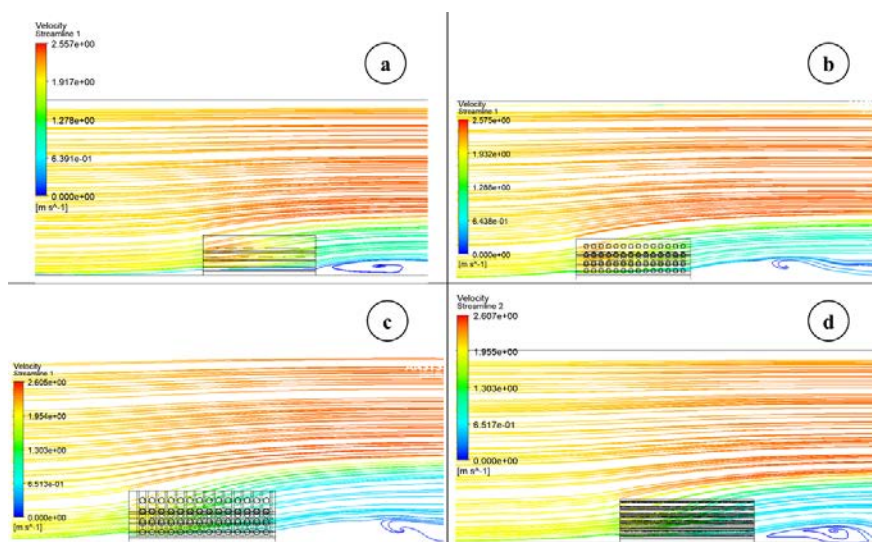
As temperaturas verificadas nos processadores (fundo do dissipador) e nos dissipadores (volume do dissipador) seguem a mesma ordem crescente, sendo a menor temperatura do modelo (a), de aleta contínua, e a maior no modelo (b), de aleta contínua com cavidades. Vale ressaltar que dentre os modelos com modificações em relação ao de aleta contínua, o modelo (d) com ondulações é o que fornece a menor temperatura.

Como já descrito, a maior transferência de calor se dá teoricamente em dispositivos que apresentam a maior área de superfície, e por isso se esperava que o modelo (d) fosse o mais eficiente dentre todos os modelos. A explicação para essa aparente contradição é que além da área de superfície, a perda de carga dentro dos canais bem como o formato das aletas em tiras também influenciam a transferência de calor.

A perda de carga indica a maior dificuldade de escoamento do ar dentro do dissipador devido ao atrito viscoso. Em um canal aberto, como é o caso, a perda de carga funciona com uma espécie de restrição ao escoamento e faz com que uma parte do ar que deveria escoar dentro dos canais saia para fora, o que diminui o contato do fluido mais frio com o dissipador e, como consequência, resfria menos.

Isso pode ser observado na **FIGURA 3.2**, que mostra as linhas de corrente, que são indicadores da direção instantânea no campo de escoamento do fluido.

Figura 3.2 – Linhas de corrente da velocidade ao longo da aleta nos modelos analisados.



Fonte: elaborado pelos autores

A velocidade do fluido externo ao dissipador apresenta velocidade maior (coloração vermelha) que na parte interna pois o ar não encontra nenhuma restrição ao escoamento. No modelo (a), as linhas de menor velocidade (coloração azul) escoam para fora do dissipador somente no final do seu comprimento, enquanto nos outros dissipadores, essas linhas tendem a sair antes do final do dissipador.

Uma outra forma de verificar as velocidades dentro do dissipador é inserir uma linha imaginária no seu comprimento, entre a entrada e a saída, como apresentado na **FIGURA 3.3**

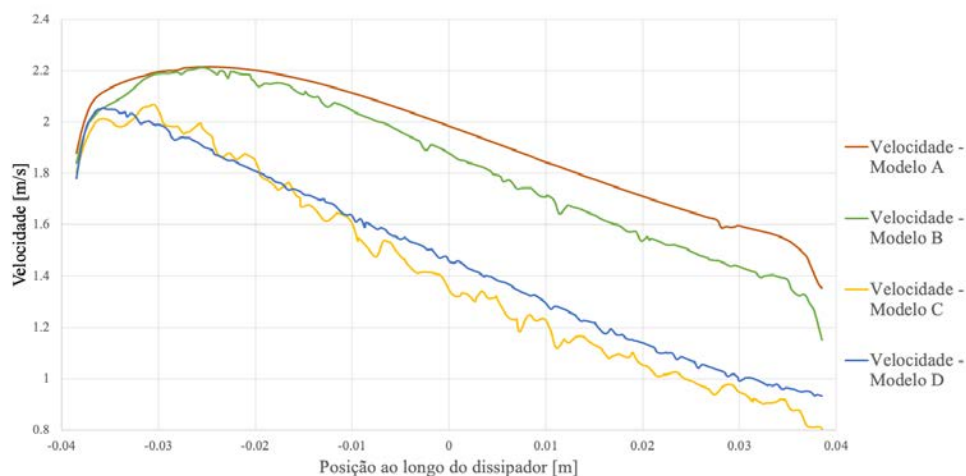
Figura 3.3 - Representação da linha imaginária em amarelo ao longo da aleta do dissipador.



Fonte: elaborado pelos autores

Nessa linha foram obtidas as distribuições de velocidade em todos os dissipadores, como mostrado na FIGURA 3.4.

Figura 3.4 - Velocidade do ar nos diferentes dissipadores ao longo do comprimento da aleta.



Fonte: elaborado pelos autores

A velocidade do ar foi maior no modelo (a) seguido pelo modelo (b), depois modelo (d) e finalmente modelo (c). Esse resultado é consistente com as medidas da queda de pressão entre a entrada e saída do dissipador (TABELA 3.1).

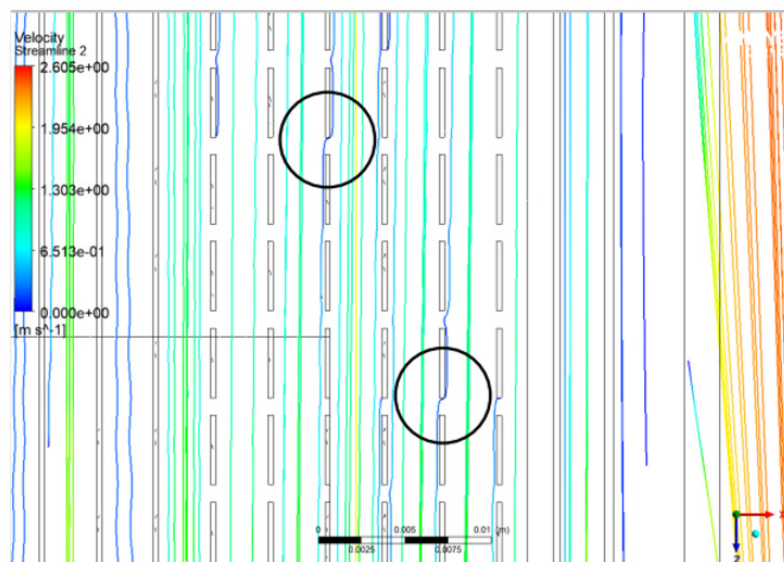
Comparando o modelo (a) com o modelo (b) cuja diferença é a presença de cavidades, nota-se que apesar da área de superfície do modelo (b) ter aumentado em 2,5 %, a temperatura obtida no modelo (a) é menor. A presença das cavidades aumentou a queda de pressão (perda de carga) em 7 % e por consequência, a velocidade do fluido no interior do dissipador diminuiu. O efeito da queda de pressão prevaleceu sobre o efeito da maior área da superfície.

Entre os modelos (a) e (d), a diferença são as ondulações na aleta do modelo (d). Esse último apresenta uma área de superfície 10 % maior, mas a queda de pressão aumentou em 20 %. Como na comparação anterior, a queda de pressão teve um efeito maior do que a área de superfície e a temperatura verificada foi maior que a do modelo (a).

A influência da aleta em tiras é verificada comparando os modelos (b) e (c), ambos com cavidades. Apesar da menor área da superfície e da maior queda de pressão, o modelo (c) apresentou a menor temperatura. A queda de pressão do modelo (c) deveria ser menor, pois tem menos área de contato entre o ar e a parede da aleta e teria menos atrito viscoso. Pelo mesmo motivo da maior área de contato, esperava-se, a princípio, que a temperatura fosse maior.

A explicação é que a aleta em tiras proporciona um escoamento diferente em relação às aletas contínuas. A **FIGURA 3.5** mostra as linhas de corrente em um plano horizontal dentro do modelo (c). Percebe-se nos locais marcados com um círculo que o ar não segue totalmente uma linha reta entre a entrada e a saída como na aleta contínua. Há uma parte que passa de um canal para outro. Isso proporciona de um lado uma maior queda de pressão e do outro lado melhora a mistura do ar na parte interna do dissipador. A soma desses efeitos faz diminuir a temperatura em relação ao uso de aleta contínua.

Figura 3.5 - Linhas da corrente de velocidade do ar no plano horizontal no modelo (c) - aleta em tiras.



Fonte: elaborado pelos autores

Uma indicação da mistura do ar pode ser vista na **FIGURA 3.4** em que a curva referente ao modelo (c) é mais instável que as demais curvas.

4 Conclusão

O presente estudo investigou, por meio de simulação computacional, a influência que a inclusão de cavidades e ondulações bem como o uso de aletas em tiras exercem no aumento da taxa de transferência de calor e consequente diminuição da temperatura de um dissipador de calor em regime de escoamento laminar.

Comparou-se o modelo (a), dissipador de aleta reta contínua, com o modelo (b), dissipador de aletas contínuas com cavidades, com o modelo (c), de aletas com tiras e cavidades, e o modelo (d) de aletas onduladas.

Verificou-se que a taxa de transferência de calor em escoamento laminar em aletas contínuas depende, da área de superfície e da queda de pressão do ar que passa por dentro do dissipador (perda de carga). A princípio não é possível saber qual desses parâmetros irá influenciar mais a taxa de transferência de calor, para novas geometrias de dissipadores será necessário realizar novas simulações ou efetuar testes em laboratório.

A utilização de aletas em tiras mostrou ser benéfica para a transferência de calor. A presença de tiras permite uma maior circulação de ar dentro do dissipador que, embora aumente a queda de pressão, melhora a mistura do ar dos diferentes canais e proporciona uma temperatura menor no dissipador.

Os próximos passos para estudar o melhor aproveitamento da maior área de superfície das aletas obtidas com cavidades e ondulações, é verificar o comportamento em escoamento turbulento ou fazer com que o ar escoe de cima para baixo (TISE) ao invés da entrada e saída pela lateral (SISE).

5 Referências

ALVES, C. F. *et al.* Análise de eficiência térmica dos dissipadores. **Revista Científic@ Universitas**, v. 8, n. 1, p. 103-109, 2021.

BERGMAN, T. *et al.* **Incropera - Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2019. 648 p.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2013. 784 p.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. 4. ed Porto Alegre: McGraw-Hill, 2012. 906 p.

FONSECA, W. D. P. **Investigação Experimental e Simulação Numérica de Dissipadores Térmicos de Aletas Retas em Tiras Alinhadas (Strip Fins)**. 2020. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2020.

GUPTA, A.; KUMAR, M.; PATIL, A. K. Enhanced heat transfer in plate fin heat sink with dimples and protrusions. **Heat and Mass Transfer**, v. 55, n. 8, p. 2247-2260, 2019.

HEAT Sinks Market by Product Type: (Aluminum Heat Sink, Copper Heat Sink, Copper Aluminum Heat Sink). Disponível em: <<https://www.profsharemarketresearch.com/heat-sinks-market-report/>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

LIU, J. *et al.* Numerical modeling flow and heat transfer in dimpled cooling channels with secondary hemispherical protrusions. **Energy**, v. 79, p. 1-19, 2015.

LUO, L. *et al.* Flow structure and heat transfer characteristics of a rectangular channel with pin fins and dimples with different shapes. **Journal of Thermal Science and Engineering Applications**, v. 11, n. 2, 2019.

MASCHIETTO, V. C. L. **Investigação Experimental e Análise Numérica da Transferência de Calor em um Dissipador de Calor Aletado**. 2018. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2018.

MODESTO, D. L. **Estudo da transferência de energia de um tubo de vórtice (RHVT) a partir da fluidodinâmica computacional (CFD)**. 2022. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo, 2022.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; MUNSON, B. R. **Introdução à engenharia de sistemas térmicos**: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 620 p.

NETO, R. M.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (org.). **Metodologia científica para engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. Cap. 8. p. 215-244.

PERWEZ, A.; KUMAR, R. Heat transfer performance investigation of the spherical dimple heat sink and inclined teardrop dimple heat sink. **Numerical Heat Transfer, Part A: Applications**, v. 76, n. 2, p. 73-86, 2019.

REIS, F. G. **Análise numérica de resfriamento de componentes eletrônicos por trocadores de calor com microcanais**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Porto Alegre, 2018.

SILVA, G. R. **Arrefecimento de Componentes Eletrônicos**: análise da dinâmica de fluidos computacionais na utilização de ondulações e cavidades nas aletas de um dissipador de calor. 2023. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo., São Paulo, 2023.

10.29327/2202814.7.24-1



Artigo Técnico

Planejamento multidimensional em projetos de construção típicos

*Multidimensional planning for
repetitive construction projects*

Arnaldo Massao Shima Júnior^{a*},
Eduardo Luiz Machado^b

^a Mestrado em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Docente do Mestrado em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*e-mail: shima@arnaldoshima.com

Palavras-chave: Gestão da construção; Planejamento; Otimização; Gestão de projetos; Modelos computacionais.

Keywords: *Construction Management; Scheduling; Optimization; Project Management; Computer Models.*

Resumo

Na indústria da construção civil brasileira, a maioria das organizações ainda recorre a métodos tradicionais de planejamento de projetos. Tais métodos relacionam tarefas e recursos a um determinado período ou duração segundo relações fixas e lineares, comumente *Critical Path Method* (CPM), *Line of Balance* (LoB), *Linear Scheduling Method* (LSM) ou Diagrama de Rede. Nesse cenário, a qualidade do plano depende estritamente do planejador, já que as redes de precedência são construídas a partir de informações previamente conhecidas ou fornecidas especificamente para a elaboração do cronograma. Parte significativa dos fatores de influência considerados na criação de um cronograma de um projeto de construção é dinâmica, e não estática. Dentre os elementos dinâmicos, os fatores meteorológicos e financeiro-econômicos são destacados como sendo os mais relevantes. Foi desenvolvido e implementado um modelo híbrido de previsão meteorológica e um modelo de previsão do custo da construção capaz de estimar a evolução do Índice Nacional de Custos da Construção (INCC). Ambos foram integrados a um módulo de otimização de cronogramas de construção, implementado em linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) como complemento aos cronogramas desenvolvidos no software Microsoft Project. O módulo de otimização foi aplicado a um projeto típico real, no qual foi observada a manutenção da duração do projeto e o aumento do custo final conforme a taxa estimada para o INCC, mesmo após a perda total de produtividade em 7,62% do período útil e redução da taxa de produtividade em 43,81% do mesmo período, devido à influência de fatores meteorológicos. Ao observar o controle das variáveis custo e prazo, mesmo após a inclusão de fatores degradantes, foi identificada melhoria na previsibilidade de execução nos aspectos de prazo e custo.

Abstract

In Brazilian construction industry, most of organizations still resort to traditional project planning methods. These methods link tasks and resources to a specific period or duration according to fixed and linear dependencies, usually Critical Path Method (CPM), Line of Balance (LoB), Linear Scheduling Method (LSM) or Network Diagram. In this scenario, plan's quality depends strictly on the planner's experience while the dependency chains are build based on experience or information inquired specifically for schedule's creation. It is well known that most of the information considered when

developing a construction project schedule is dynamic, not static. Among dynamic data, climate factors are highlighted as relevant variables and economic-financial factors accrued from variation in the inferred productivity rate. A hybrid weather forecast model and a construction cost forecast model were developed and implemented. Both modules were integrated into a construction schedule optimization module, implemented in Visual Basic for Applications (VBA) language as a complement to the schedules developed in Microsoft Project software. The optimization module was applied to a real repetitive (or typical) construction project where duration was maintained and cost raised according to the forecasted rate, even though 7.62% of working days were completely lost and other 43.81% had productivity rate reduced, due influence of weather. Having duration and cost variables under control, even after including degrading factors in the analysis indicates that duration and cost predictability were improved after Multidimensional Planning approach, in repetitive construction projects

1 Introdução

Após a popularização de ferramentas e metodologias de gestão de projetos nos anos 60, a indústria da construção civil começou a evoluir em termos de aumento de produtividade, qualidade, desempenho de execução e previsibilidade dos resultados dos projetos.

O *Project Management Institute* (PMI) define um projeto como sendo um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo (PMI, 2017). No entanto, Hyari e el-Rayes (2006) mostram que certos tipos de projetos de construção podem ser considerados como repetitive, em língua inglesa, ou “típicos”, em tradução livre para a língua portuguesa. Alguns exemplos desses tipos de projetos são: rodovias, linhas férreas, centros de processamentos de dados, shopping centers, habitações etc.

Segundo Darrington e Lichtig (2010), não apenas os clientes e investidores, mas também as construtoras já perceberam que os modelos tradicionais de planejamento e execução estão deteriorados, como evidenciado pelas baixas taxas de produtividade, relações contratuais conflituosas, disputas frequentes, falta de inovação e ineficiência.

Cerca de 90% dos projetos de construção foram impactados por alguma forma de problema oriundo da coordenação ou gestão do projeto, e por isso não foram concluídos dentro do prazo (KUENZEL et al., 2016). Mais recentemente, Oppong, Chan e Dansoh

(2017) mostraram que problemas organizacionais e engajamento insuficiente das partes interessadas são causas fundamentais de fracasso dos projetos de construção.

Em 2018, Vermeulen *et al.* (2018) apresentaram a indústria da construção civil como o segmento com segundo maior potencial de automatização das tarefas individuais entre as áreas analisadas, ficando atrás apenas do segmento de transportes e movimentação de materiais e caminha em direção à modernização e à automação de seus processos.

O trabalho de Lia, Ringerike e Kalsaas (2014) mostra que, para projetos complexos, os métodos tradicionais de planejamento - o *Last Planner System* (LPS) ou o *Critical Chain Project Management* (CC) - têm se provado insuficientes para controle e acompanhamento, sendo necessário incluir métodos mais interativos e inclusivos, a fim de aumentar a sua previsibilidade.

Nas duas últimas décadas, surgiu a tendência de implementação de processos industriais dentro da Indústria da Construção Civil. Notadamente no Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação (1998) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), são mostrados exemplos de aplicação de novos processos e sistemas construtivos. Além disso, Ribeiro e Michalka Júnior (2003) analisaram o processo de industrialização no Brasil e a sua contribuição para o que eles chamam de racionalização da construção e ainda chamam a atenção para a necessidade de adoção de novas tecnologias, principalmente para a criação de mecanismos que tornem possível escalar esse processo de industrialização de modo que o conhecimento e as melhorias não sejam empenhados apenas pontualmente em alguns projetos.

Publicações recentes trazem abordagens com maior ou menor nível de complexidade referentes ao uso de ferramentas computacionais no processo de planejamento de um projeto de construção. Podem ser citadas como exemplos as inferências estatísticas em processos de planejamento (ROGOVENKO; ZAITSEVA, 2017), a aplicação de processos *Building Information Modeling* – BIM para apoio à gestão de suprimentos e contratados (TREBBE; HARTMANN; DORÉE, 2015) ou mesmo a disruptiva proposta de digitalização total do projeto, associada à sua gestão pelo método Ágil (LEICHT *et al.*, 2020).

Sabendo-se que o nível de complexidade da solução é inversamente proporcional à facilidade e rapidez da sua adoção, é notória a oportunidade de apresentar um modelo menos disruptivo de melhoria do planejamento de projetos de construção típicos.

Este trabalho visa expandir os mecanismos tradicionais de planejamento, incluindo o reflexo das variáveis meteorológicas nas taxas de produtividade e a evolução da variável custo como (os principais) fatores de influência no desempenho de execução e resultado desses projetos típicos.

As projeções das taxas de produtividade em função das variáveis meteorológicas e a evolução do custo da construção foram modelados a partir de suas séries históricas, processos estatísticos, estocásticos e incluídos como novas dimensões de análise dentro do cronograma tradicional de um projeto de construção típico real. Este cronograma foi submetido a um processo de otimização multiobjetivos baseado em algoritmos genéticos.

2 Procedimento metodológico

2.1 Previsão de variáveis climáticas e impacto na taxa de produtividade

Neste trabalho, cada tarefa ou unidade de trabalho de construção a ser executada foi tratado como um evento contínuo, e não como evento discreto, uma vez que a maior parte das atividades de construção não são iniciadas e concluídas em um único dia. Essa definição facilita a análise da relação condição meteorológica versus produção, pois a taxa de produtividade “R” pode ser expressa por meio de uma relação de primeira ordem, como mostrado na Equação 1.

Equação 1 - Taxa de produtividade (R) para determinada tarefa ou unidade de trabalho de construção

$$R = \frac{\textit{produtividade atual}}{\textit{produtividade média}}$$

Fonte: Shahin, Abourizk e Mohamed (2011).

Serão consideradas as seguintes variáveis meteorológicas com influência na taxa de produtividade nas atividades de construção:

1. precipitação;
2. temperaturas máximas e mínimas; e
3. média diária da velocidade do vento.

Partindo-se da consideração que a variável meteorológica “precipitação” é do tipo discreta, foi possível utilizar o modelo de previsão de Richardson (1981) utilizando-se um modelo estocástico de primeira ordem e duas variáveis.

Para a modelagem das variáveis “temperatura máxima” e “temperatura mínima” diárias foi utilizado o conceito apresentado em Shahin, Abourizk e Mohamed (2011), no qual a série histórica de cada variável é reduzida a uma série temporal de elementos residuais a partir da retirada da média diária e desvio-padrão da amostra. Os elementos residuais referentes ao dia anterior são somados a um fator aleatório para a determinação das variáveis referentes ao dia atual.

Conforme Shahin, Abourizk e Mohamed (2011), a velocidade do vento é uma variável gerada sem a necessidade de correlação com outras variáveis climáticas. O processo de determinação da velocidade média diária do vento é iniciado com a aquisição da série histórica diária de velocidades do vento para o local em análise.

Em seguida, calculou-se a média diária das medições; as médias diárias foram, então, organizadas em 12 grupos, referentes aos 12 meses do ano. Cada grupo de médias foi ajustado em uma distribuição do tipo Gama (dois parâmetros). Os valores distribuídos foram, então, submetidos a testes qui-quadrado para validação.

Para as quatro variáveis meteorológicas em análise, foram consideradas as séries históricas de dez anos, com amostragem ininterrupta (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2021). A lógica computacional descrita nos trabalhos de Richardson (1981) e Shahin, Abourizk e Mohamed (2011) foi modelada no *software* Microsoft Excel. O resultado foi a previsão meteorológica para um ano completo, na região analisada no exemplo de aplicação.

2.2 Estudo da taxa de produtividade “R”

A **TABELA 1** mostra a perda de eficiência estimada para as unidades de trabalho repetitivas consideradas no projeto exemplo.

Tabela 1 - Perda de eficiência estimada para as unidades de trabalho repetitivas

Índice (equação 1)	Condição meteorológica	Perda de eficiência estimada	Unidades de trabalho T aplicáveis
Z	Temperatura abaixo de - 5 °C	50%	1, 2, 3, 4,
Y	Temperatura acima de 30 °C	40%	1, 2, 3, 4
-	Temperatura entre -5 °C e 30 °C	0%	Nenhuma
X	Chuva acima de 20 mm/dia	100%	1, 2, 3, 4
X	Chuva entre 10 e 20 mm/dia	50%	1, 2, 3, 4
X	Chuva entre 5 e 10 mm/dia	25%	1, 2, 3, 4
X	Chuva abaixo de 5 mm/dia	0%	1, 2, 3, 4
W	Influência do Vento	Desconhecida	Nenhuma

Fonte: adaptada de Thomas e Ellis (2017) pelo autor.

As taxas de produtividade de cada tarefa do projeto exemplo, pesquisadas no item anterior, foram submetidas à influência das condições climáticas previstas para cada dia do ano, utilizando-se a equação 2 onde $K_{a,t}$ é a taxa de produtividade típica esperada para cada tarefa.

Equação 2 - Composição da taxa de produtividade para uma tarefa

$$R_{a,t} = f(X_{a,t}, Y_{a,t}, Z_{a,t}, W_{a,t}) \times K_{a,t}$$

Fonte: adaptada de Hyari e El-Rayes (2006) pelo autor.

2.3 Previsão de ajuste do INCC e impacto no custo do projeto

O modelo para previsão de custos de construção aplicado neste projeto será baseado no trabalho de Touran e Lopez (2006), o qual traz uma abordagem simples e suficientemente eficaz para projetos repetitivos de curta e média duração (até 2 anos) e que estejam inseridos em programa ou estratégia de crescimento de longo prazo.

Assim, este trabalho propõe o uso do INCC como referência de aumento do custo de construção para projetos típicos. Esse índice já é comumente utilizado pela indústria, de forma consistente, há mais de 70 anos. Um ponto interessante e complementar ao objetivo deste trabalho se refere a uma desvantagem do INCC, que não é capaz de refletir a taxa de produtividade de atividades de construção e seu reflexo no prazo do projeto e, conseqüentemente, em seu custo.

O método adotado assemelha-se ao método da média simples da série histórica, porém aqui foi aplicada a distribuição normal. Sabendo-se que eventos recentes da série histórica podem influenciar mais a curva de comportamento do índice em estudo (KRESS, 1985), faz sentido a definição de uma taxa de aumento, conforme a Equação 3, onde Δ_i é a variação da taxa de aumento do custo de construção no período em análise, I_i é o valor do índice no período e I_{i-1} representa o valor do índice no período anterior ao período em análise.

Equação 3 – Taxa de aumento do custo de construção

$$\Delta_i = [(I_i/I_{i-1}) - 1] \times 100\%$$

Fonte: Touran e Lopez (2006).

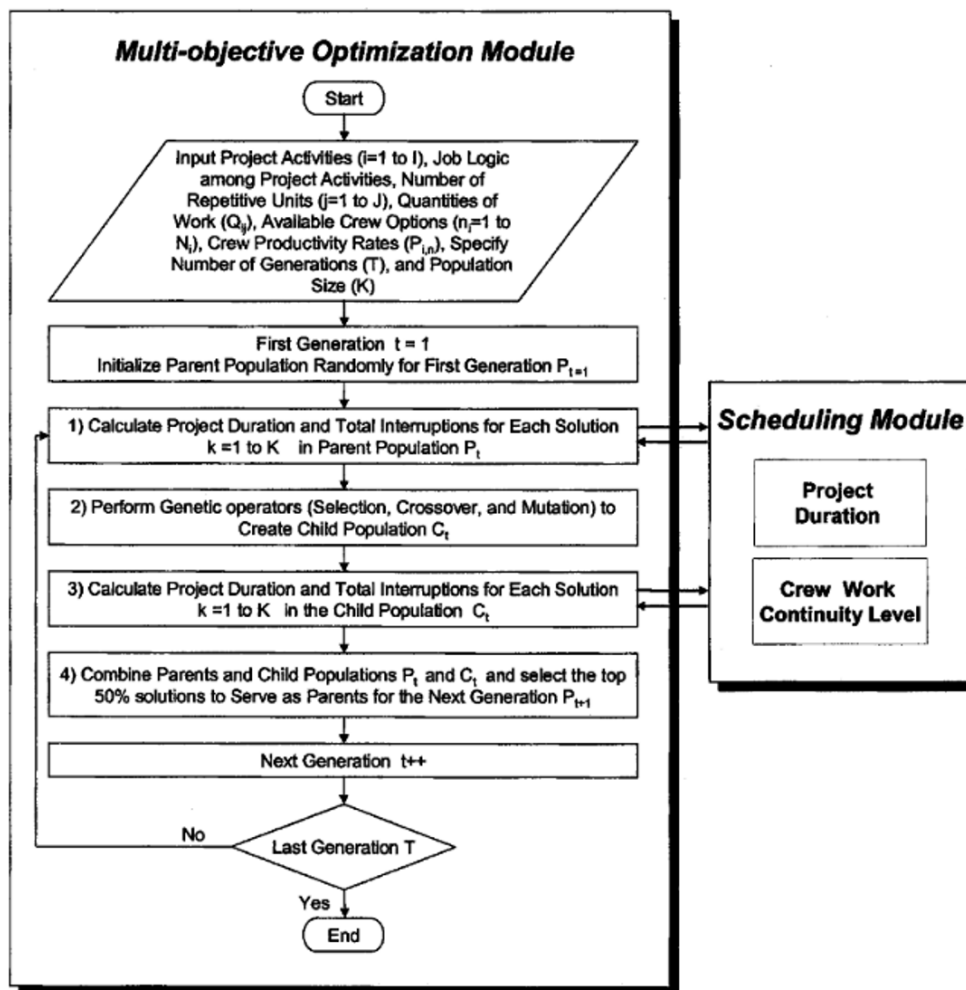
A seguir, foi aplicada a distribuição normal à série das taxas de aumento. Em Touran, Bolster e Thayer (1994), a distribuição normal indicou de maneira realista a variabilidade da taxa de aumento dos custos de construção.

2.4 Módulo de otimização multiobjetivos

O objetivo deste módulo é identificar o cenário de execução mais otimizado, em termos de duração e do tempo ocioso dos recursos alocados no projeto, por meio de um processo de otimização multiobjetivos. Em um problema de otimização multiobjetivos não trivial, a solução otimizada (ou não dominante) será aquela que apresenta melhoria simultânea para cada variável em análise (HYARI; EL-RAYES, 2006).

O processo de otimização do plano de trabalho foi baseado no trabalho de Hyari e El-Rayes (2006) e adota o método Ótimo de Pareto para apoiar a otimização e a sobrevivência dos cenários/conjuntos mais aptos a evoluir como soluções ao longo das iterações (gerações) futuras. A FIGURA 1 mostra o fluxograma de otimização do plano de construção de um projeto típico.

Figura 1 – Lógica/Fluxograma do processo de otimização do cronograma de um projeto de construção típico



Fonte: Hyari e El-Rayes (2006).

O processo é iniciado com a geração aleatória de um número de cenários de utilização de recursos ($k = 1-K$), em que cada cenário representa a seleção aleatória de um grupo de trabalho (n_i) e um vetor de interrupção de continuidade de trabalho (v_i) para cada tarefa (i) do projeto. Esses cenários aleatórios formam a população principal (P_t) da primeira geração/iteração ($t=1$), que evoluirá para uma solução otimizada após um número definido de gerações/iterações (T).

Os passos de 1 a 4 indicados na **FIGURA 1** são descritos a seguir.

1. Calcular a duração (D_k) do projeto e o número total de dias de trabalho interrompidos (H_k) para cada cenário de utilização de recursos na primeira iteração.
2. Criar uma população secundária por meio de operações genéticas na população principal (algoritmos genéticos). As operações genéticas utilizadas serão seleção, cruzamento e mutação, nessa ordem. Pela ordem, o operador genético de seleção favorece as soluções com melhores valores de ajuste a seguirem em direção à fase de reprodução. A seguir, o operador de cruzamento troca uma parte do material genético entre os pares recombinados (multipontos) na fase de reprodução. Por fim, o operador de mutação é utilizado para alterar aleatoriamente os materiais genéticos na população secundária, a fim de evitar a formação de soluções ótimas locais, já que o objetivo é incentivar a formação de soluções ótimas globais, e não locais.
3. Avaliar as durações de projeto e tempos de interrupção de trabalho para cada solução criada e incluída na população secundária (C_t) de forma similar ao passo 1.
4. Combinar as populações principais e secundárias (P_t e C_t), de maneira a criar um conjunto de soluções e, então, selecionar as 50% melhores soluções desta nova população (conjunto) para formar a população principal da próxima iteração (geração).

As etapas de cálculo de 1 a 4 serão repetidas por um número definido de iterações ($t = 1 - T$), a fim de produzir um conjunto ótimo de Pareto de planos de utilização de recursos não dominantes (otimizados) para o projeto de construção repetitivo.

Neste conjunto ótimo de Pareto, cada plano oferece: (1) um plano de construção ideal que fornece a menor duração do projeto (D^*) e que pode ser alcançado em um determinado nível de continuidade do trabalho da equipe (H^*); e (2) um nível ótimo de utilização de recursos para cada tarefa de construção (i) no projeto que especifica a formação da equipe selecionada (n_i^*) e no vetor de interrupção de dias de trabalho (v_i^*).

2.5 Lógica de classificação e seleção das soluções otimizadas

Esta etapa do trabalho tem o objetivo de classificar as soluções otimizadas ($g = 1-G$) pelo módulo de otimização multiobjetivos. A classificação das soluções otimizadas é, na verdade, um processo de tomada de decisão que considera atributos múltiplos e concorrentes.

Dentro de um ambiente de tomada de decisões multicritério, os problemas são representados de forma que o planejador deve levar em consideração as alternativas existentes e tomar uma decisão ótima considerando atributos mais relevantes para o projeto. Segundo Jansen (2011), uma maneira de fazer isso é medir os níveis de satisfação do responsável pela tomada de decisão separadamente para um conjunto de atributos influentes, ponderando-os pela sua importância relativa e conforme percebidos pelo tomador de decisão.

Neste estudo, o critério de classificação (que é uma tomada de decisão multicritério) será dado pelos valores definidos como satisfatórios pelo planejador do projeto quanto à duração do projeto e à taxa continuidade de trabalho dos recursos alocados.

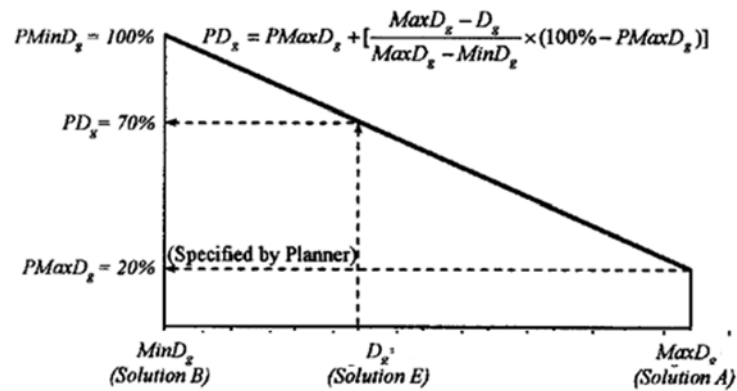
Hyari e El-Rayes (2006) sugerem a utilização de funções lineares para avaliação do desempenho PD_g de cada duração de projeto D_g gerada e entregue pelo módulo de otimização discutido anteriormente. Utilizando uma escala de 0 a 100% (vide FIGURA 2), essa função é definida facilmente ao atribuir 100% de desempenho ao valor da duração mínima $MinD_g$ e um valor de aceitação ao desvio da solução de menor duração, a ser definido pelo planejador do projeto (0 ~ 20% no exemplo da FIGURA 2) e que reflete o grau de satisfação em relação ao cenário de maior duração entregue pelo módulo de otimização ($MaxD_g$), conforme mostrado na Equação 4.

Equação 4 - Cálculo do desempenho da função duração de projeto

$$PD_g = PMaxD_g + \left[\frac{MaxD_g - D_g}{MaxD_g - MinD_g} \times (100\% - PMaxD_g) \right]$$

Fonte: Hyari e El-Rayes (2006).

Figura 2 – Função linear para avaliação do desempenho dos cenários de duração do projeto



Fonte: Hyari e El-Rayes (2006).

O mesmo critério de definição de uma função linear para avaliação do desempenho foi aplicado para a continuidade de trabalho dos recursos alocados (H), conforme Equação 5. O cálculo do índice de desempenho global (classificação multicritério) é mostrado na Equação 6.

Equação 5 – Cálculo do desempenho da função de continuidade dos recursos alocados no projeto

$$PH_g = PMaxH_g + \left[\frac{MaxH_g - H_g}{MaxH_g - MinH_g} \times (100\% - PMaxH_g) \right]$$

Fonte: adaptada de Hyari e El-Rayes (2006) pelo autor.

Equação 6 – Cálculo do índice de desempenho global das variáveis duração e continuidade dos recursos alocados no projeto

$$C_g = PD_g \times Wt_D + PH_g \times Wt_H$$

Fonte: adaptada de Hyari e El-Rayes (2006) pelo autor.

3 Resultados e discussão

3.1 Exemplo de aplicação

Dentre os diversos tipos de projetos de construção típicos apresentados, foi desenvolvido o estudo de planejamento multidimensional focado em habitações populares destinadas a famílias de baixa renda.

Segundo Leonardo e Teixeira (2019), o déficit habitacional no Brasil é calculado em 7,2 milhões de moradias, sendo que 80% estão concentrados nas faixas de renda menor que 3 salários-mínimos. Em 1995, Leibfreid e Pierson (1995) mostraram que os municípios, por terem o status de unidade política autônoma, têm capacidade e autonomia para implementar estratégias e políticas públicas de habitação popular — modelo comumente desenvolvido no Brasil.

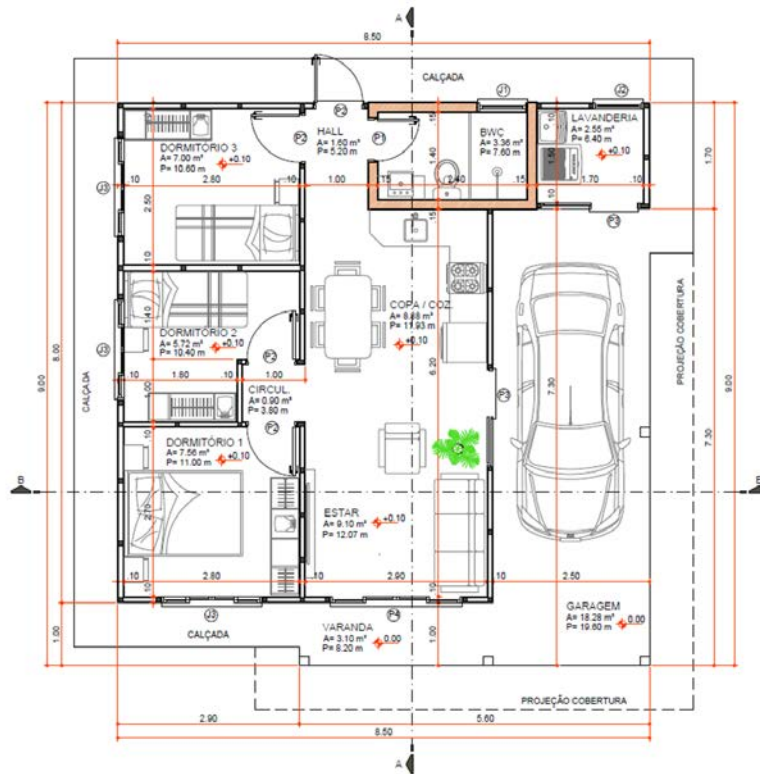
Independentemente da região do Brasil, esse tipo de habitação normalmente é construído pela iniciativa privada, por meio de um edital de concorrência pública que oferece um contrato de empreitada global mediante recebimento do projeto executivo e cronograma de execução da contratante. A nomenclatura da modalidade de contratação pode variar conforme entendimento do autor ou influência cultural, porém os formatos de contratação de projetos no Brasil estão definidos no Código Civil Brasileiro (2008). O desenvolvimento de cada modalidade de contratação de projetos pode ser aprofundado no trabalho de Ferrari (2011).

Para este estudo, foi escolhido o Edital no 061/2019 da Prefeitura Municipal de Vargem Bonita, no estado de Santa Catarina, por se tratar da construção de casas térreas em terreno uniforme, com bom detalhamento do projeto executivo e cronograma. O clima mesotérmico úmido com chuvas bem distribuídas, verões brandos e invernos rigorosos, segundo a classificação de Köppen-Geiger (GRIESER et al., 2006), contribui com variações relevantes nas taxas de produtividade para cada grupo de atividades repetitivas, conforme desenvolvimento do trabalho.

Foi realizada a modelagem do cronograma multidimensional otimizado para as 50 “Casas Populares – Modelo Normal”, conforme desenhos apresentados nas Figuras 3, 4 e 5.

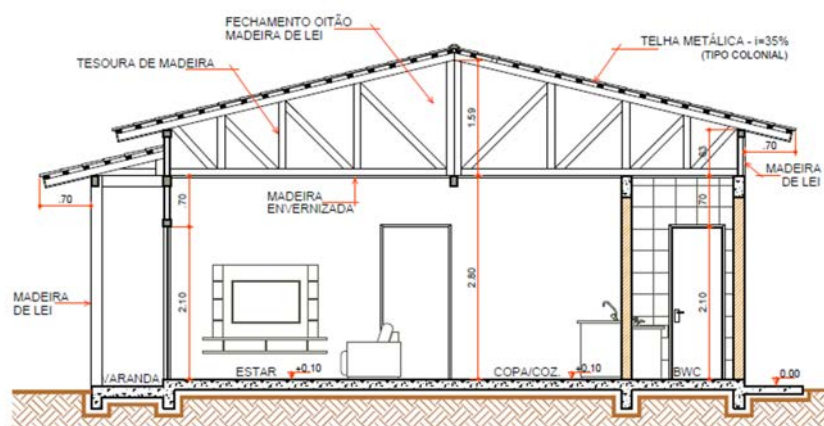
O cronograma executivo sugerido pela prefeitura de Vargem Bonita será considerado como a linha de base para análise e confrontada com a bibliografia existente e com os resultados obtidos. As divisões por área/disciplina da planilha orçamentária do edital foram utilizadas na análise para as unidades de trabalho repetitivas.

Figura 3 – Planta baixa: Casa típica sem acessibilidade



Fonte: Município de Vargem Bonita (2019).

Figura 4 – Corte A-A: Casa típica sem acessibilidade



Fonte: Município de Vargem Bonita (2019).

Tabela 2 – Unidades de trabalho repetitivas

Item (T)	Descrição
1	Serviços Iniciais
2	Fundação
3.	Paredes e Revestimentos
4.	Cobertura
5.	Pavimentação
6.	Esquadrias
7.	Forro
8.	Louças e Metais
9.	Instalações Hidráulicas
10.	Instalações Sanitárias
11.	Instalações Elétricas

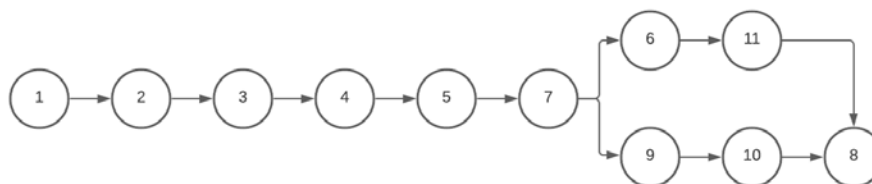
Fonte: Município de Vargem Bonita (2019).

3.2.2 Relações lógicas ou de interdependência entre as tarefas

Segundo Kerzner (2011), dependências lógicas (ou obrigatórias) são relações que não podem mudar — por exemplo, erguer a estrutura de suporte ao telhado de uma casa antes de instalá-lo.

Serão utilizadas as premissas e dependências lógicas do cronograma executivo sugerido no edital como linha de base (ou referência) para comparação com os resultados obtidos neste estudo. Lá é previsto que a construção de cada casa deve levar até 3 meses, seguindo a rede mostrada na **FIGURA 6**, e que o contrato (construção de 50 casas) deve ser encerrado ao fim do sétimo mês.

Figura 6 – Rede de precedência sugerida para o cronograma executivo de uma casa



Fonte: adaptada de Município de Vargem Bonita (2019) pelo autor.

O edital mostra que, como premissa básica de planejamento, é indicado iniciar a construção de um grupo de casas até o quinto mês do projeto, como forma imediata de reduzir o efetivo mobilizado. Desta forma, é razoável considerar que o cronograma base de análise avalia a construção simultânea de um conjunto de 10 casas, com início de outro grupo de 10 casas no mês seguinte até o quinto mês.

O cronograma contratual e o otimizado foram criados no aplicativo Microsoft Project Professional. As lógicas de otimização, seleção e exposição aos fatores de influência estudadas foram implementadas e simuladas em linguagem VBA, dentro do aplicativo Microsoft Project.

3.2.3 Alocação de recursos e custos ao projeto

Uma vez definidas as tarefas e as relação de lógicas, fez-se a alocação dos recursos. Conforme descrito anteriormente, os recursos trabalhadores, maquinário e ferramentas, ou a combinação dos três componentes em qualquer proporção. Neste exemplo de aplicação, os recursos necessários para a execução de cada tarefa foram pesquisados no cronograma completo do projeto, sendo possível fazer a alocação de recursos e dos seus respectivos custos.

Os custos referentes às quantidades indicadas no edital foram obtidos por meio da base de dados do Sistema Nacional de Custos, Preços e Índices de Construção Civil (SINAPI) para o estado de Santa Catarina, atualizada em julho de 2021 e convertidos em dólar americano à cotação comercial de R\$ 5,4965 retroativa à data de 21 de janeiro de 2022 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021).

As taxas de produtividade típicas foram pesquisadas no próprio SINAPI e no Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil (CBIC, 2017).

O cronograma do projeto exemplo foi exposto à diminuição da taxa de produtividade, causada pela influência das variáveis meteorológicas, e ao aumento do custo de execução em função do tempo, dado pela projeção do INCC. A abordagem multidimensional foi submetida à simulação computacional (módulos de otimização multi-objetivos e classificação) por dez ciclos completos de interações. Os resultados são mostrados no item 3.3, onde também são feitas a comparação com o cenário base (edital) e a discussão.

3.3 Previsão do impacto do custo do projeto com base na previsão do INCC

Os valores do índice INCC dos últimos 10 anos (VALOR CONSULTING, 2021) foram tabelados e tratados conforme item 2.3 deste trabalho. Adicionalmente, foi calculada a regressão linear com grau de confiança superior a 95% dos 12 últimos valores da série normalmente distribuída. A equação de crescimento do valor previsto para a taxa do INCC (i_x) em função do mês (m) foi implementada nos cronogramas base e otimizável, conforme a Equação 7.

Equação 7 - Cálculo da taxa de crescimento/evolução do INCC-DI estimado

$$i_x = (0,018059 \times m) + 0,43063$$

Fonte: elaborada pelo autor.

3.4 Análise dos resultados e discussão

Para fins de comparação entre o cenário base e o projeto otimizado, foram considerados a duração total do projeto em dias e o custo total do projeto em Dólares estadunidenses. A TABELA 3 traz a comparação quantitativa entre os valores encontrados:

Tabela 3 – Comparativo entre os dados do cenário base e o resultado do projeto otimizado

	Cenário base	Projeto Otimizado	Diferença
Duração total	208 dias	210 dias	+2 dias
Custo total (USD)	\$1.666.997,18	\$ 1.724.541,41	+ \$ 57.544,23

Fonte: elaborada pelo autor.

Em ambos os casos, foi considerado o início das obras em 6 de janeiro de 2022 (com custo base ajustado até janeiro de 2022). Apesar de originalmente a data de início do contrato do cenário base ter sido dia 3 de janeiro de 2020 (o edital 061/2019 da Prefeitura Municipal de Vargem Bonita considera o início das obras até o quinto dia útil após a homologação), a decisão de mover os cenários base e otimizado para o início de 2022 foi tomada pela influência da pandemia de Covid-19, principalmente com o objetivo de se trabalhar com a menor volatilidade de preços e disponibilidade de mão de obra.

Uma vez que a duração do projeto e o custo de execução são os principais resultados estudados, o deslocamento temporal para janeiro de 2022 fica justificado, sem prejuízo ao mérito da análise.

É importante observar que, apesar de não haver relatórios públicos sobre o progresso real do edital considerado como cenário base deste estudo, foi possível verificar o atraso nas obras — previstas para conclusão em até 7 meses após a data de início — por meio da fotografia de satélite disponibilizada em outubro de 2020 na plataforma Google Earth Professional (FIGURA 7). Nela é possível observar que menos de 40% das casas estão cobertas, concluídas ou em processo de acabamento. Também foi possível verificar junto à Prefeitura de Vargem Bonita (SC) que o edital para distribuição das casas populares foi homologado apenas em setembro de 2021.

Figura 7 - Andamento das obras do loteamento Bom Jesus em outubro de 2020 - cenário base deste estudo



Fonte: Google Earth Pro (2021).

O modelo de previsão meteorológica baseado nos trabalhos de Richardson (1981) e Shahin Abourizk e Mohamed (2011) foi implementado e alimentado pela série histórica dos últimos 10 anos de dados obtidos da estação meteorológica de Joaçaba-SC (código A841), localizada a 35 km do local das obras. A estação meteorológica mais próxima é a da cidade de Irani (SC), porém os dados dessa estação não foram utilizados, por conterem informações de velocidade de vento e pela inconsistência nos registros das temperaturas máximas e mínimas, nos últimos 10 anos.

Apesar de a previsão/modelagem da variável meteorológica velocidade média diária do vento ter sido estudada e modelada, não foram encontradas referências bibliográficas recentes sobre a influência do vento nas taxas de produtividade de atividades de construção residenciais ou de pequeno porte. O fator vento é comumente considerado quando existe a necessidade de içamentos de grandes volumes, conforme observado em Thomas e Ellis (2017).

No horizonte de um ano completo, gerado pelo módulo de previsão de variáveis meteorológicas, é importante observar que 16 dias foram completamente perdidos (7,62% dos dias úteis) e outros 92 tiveram a taxa de produtividade reduzida (43,81% dos dias úteis), observando-se os critérios da **TABELA 1**.

Mesmo com a taxa de produção prejudicada pelos fatores de influência meteorológica, foi observada a manutenção do prazo total do projeto (desvio de 2 dias) e a redução da taxa de ociosidade da mão de obra empregada, validando o modelo de otimização proposto por Hyari e El-Rayes (2006).

Pela característica de ser um esforço temporário, empreendido para criar-se um produto ou solução única (PMI, 2017), a dificuldade de obter suficiente previsibilidade em um projeto de construção típico foi mitigada, considerando o impacto dos principais fatores de influência nas tarefas, sequência de execução (LIA; RINGERIKE; KALSAAS, 2014) e nivelamento correto dos recursos empregados no projeto otimizado (HYARI; EL-RAYES, 2006).

A manutenção da duração do projeto otimizado traz benefício imediato ao custo final, uma vez que o aumento do custo da construção é observado mensalmente e descrito pela variação do INCC. A projeção da variação mensal do INCC foi calculada em 0,448689% de acréscimo mensal, utilizando o modelo de Touran e Lopez (2006) em Santa Catarina e a base de dados dos últimos 10 anos para o referido estado.

4 Conclusões

Foi desenvolvido e implementado um modelo híbrido de previsão meteorológica baseado nos trabalhos de Richardson (1981) e Shahin, Abourizk e Mohamed (2011) e um modelo de previsão da evolução do custo de construção, baseado no trabalho de Touran e Lopez (2006), capaz de estimar a evolução do Índice de Nacional de Custos da Construção (INCC).

Ambos os módulos foram integrados ao modelo de otimização multiobjetivos e classificação de cronogramas de construção proposto por Hyari e El-Rayes em 2006 e implementado em linguagem Visual Basic for Applications (VBA) como complemento aos cronogramas desenvolvidos dentro do *software* Microsoft Project. Dessa forma, foi possível estabelecer relações entre cada tarefa e as novas variáveis aquisitadas (fatores de influência no desempenho de execução de projetos típicos), e não mais somente em relação ao tempo ou a um recurso específico. Cada uma das novas relações criadas é passível de análise dentro do contexto dinâmico, caracterizando, assim, a abordagem multidimensional de planejamento.

O modelo de operação e otimização foi aplicado a um projeto típico real, no qual observou-se a manutenção da duração do projeto (desvio de 2 dias ou 0,96%) e o acréscimo do custo estimado em \$ 57.544,23 (ou 3,34%) em relação ao edital de venda do projeto exemplo. Ao verificar pequenos desvios em termos de custo e prazo na execução de projetos típicos, mesmo após a inclusão de fatores degradantes, ficou caracterizada a melhoria na previsibilidade de execução nos aspectos de prazo e custo.

5 Referências

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI - Sistema Nacional de Custos, Preços e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 1 set. 2021.

CBIC. **MANUAL BÁSICO DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. v. 1, n. Maio, p. 202, 2017.

DARRINGTON, A. J. W.; LICHTIG, W. A. Rethinking the “G” in GMP : why estimated maximum price contracts make sense on collaborative projects. **Construction Lawyer**, v. 30, n. 2, p. 1–2, 2010.

FERRARI, O. **Fatores de influência na definição de modalidades de contratação em projetos**. p. 218, 2011.

GRIESER, J. *et al.* **New gridded maps of Koeppen’s climate classification**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/KC_classification_en.asp>. Acesso em: 17 maio. 2021.

HYARI, K.; EL-RAYES, K. Optimal Planning and Scheduling for Repetitive Construction Projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 22, n. 1, p. 11–19, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Bancos de dados meteorológicos**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

IPT. **Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1998.

JANSEN, S. J. T. **The Measurement and Analysis of Housing Preference and Choice**. In: SPRINGER (Ed.). . *The Measurement and Analysis of Housing Preference and Choice*. 1. ed. Dordrecht: [s.n.]. p. 101–109.

KERZNER, H. **Gerenciamento de projetos - Uma abordagem Sistêmica para Planejamento, Programação e Controle**. 10 ed. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

KRESS, G. **Practical techniques of business forecasting**. 1. ed. Westport, Connecticut: Books, Quorum, 1985.

KUENZEL, R. *et al.* SmartSite: Intelligent and autonomous environments, machinery, and processes to realize smart road construction projects. **Automation in Construction**, v. 71, p. 21–33, 2016.

LEIBFRIED, S.; PIERSON, P. **European Social Policy - Between Fragmentation and Integration**. 1. ed. Washington DC: [s.n.].

LEICHT, D. *et al.* Multidimensional construction planning and agile organized project execution-The 5D-PROMPT method. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 16, 2020.

LEONARDO, V. S.; TEIXEIRA, M. A. C. Vol. 3, n. 1, Abril/2019. **Revista Estudos e Pesquisas em Administração**, v. 3, n. 1, p. 16–32, 2019.

LIA, K. A.; RINGERIKE, H.; KALSAAS, B. T. Increase predictability in complex engineering and fabrication projects. **22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC**, p. 437–449, 2014.

MUNICÍPIO_DE_VARGEM_BONITA. **Concorrência Pública N.º PROCESSO 061/2019 CC 002/2019**. Disponível em: <<https://www.vargembonita.sc.gov.br/licitacoes/index/detalhes/codMapaltem/54055/codLicitacao/153392>>. Acesso em: 6 set. 2021.

OPPONG, G. D.; CHAN, A. P. C.; DANSOH, A. A review of stakeholder management performance attributes in construction projects. **International Journal of Project Management**, v. 35, n. 6, p. 1037–1051, 2017.

PMI. **Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)/Project Management Institute**. 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute, Inc., 2017.

RIBEIRO, M. S.; MICHALKA JÚNIOR., C. A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil. **Revista Vértices**, v. 5, n. 3, p. 89–107, 2003.

RICHARDSON, C. W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. **Water Resources Research**, v. 17, n. 1, p. 182–190, 1981.

ROGOVENKO, T.; ZAITSEVA, M. Use of statistical simulation in construction planning. **MATEC Web of Conferences**, v. 106, p. 1–6, 2017.

SENADO_FEDERAL. **Código Civil Brasileiro**, 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10406.htm

SHAHIN, A.; ABOURIZK, S. M.; MOHAMED, Y. Modeling Weather-Sensitive Construction Activity Using Simulation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 3, p. 238–246, 2011.

THOMAS, H. R.; ELLIS, R. D. Fundamental Principles of Weather Mitigation. **Construction Site Management and Labor Productivity Improvement**, n. February, p. 91–115, 2017.

TOURAN, A.; BOLSTER, P. J.; THAYER, S. W. **Risk assessment in fixed guideway construction**. 1. ed. Boston: Northeastern University, 1994.

TOURAN, A.; LOPEZ, R. Modeling Cost Escalation in Large Infrastructure Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 132, n. 8, p. 853–860, 2006.

TREBBE, M.; HARTMANN, T.; DORÉE, A. 4D CAD models to support the coordination of construction activities between contractors. **Automation in Construction**, v. 49, n. PA, p. 83–91, 2015.

VALOR CONSULTING. **Índice Nacional de Custo da Construção - Disponibilidade Interna (INCC-DI)**. Disponível em: <https://www.valor.srv.br/indices/incc-di.php?pagina=4>. Acesso em: 12 set. 2021.

VERMEULEN, B. *et al.* The Impact of Automation on Employment: Just the Usual Structural Change? **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 5, p. 1–27, 2018.

10.29327/2202814.7.24-2



Artigo Técnico

Análise dos resultados operacionais decorrentes da implementação do software de aquisição automática dos dados das medições

Analysis of operational results from the implementation of the software for automatic acquisition of measurement data

Gregory Muller Taccola^{a*},
Manuel Antônio Pires Castanho^a

^a Laboratório de Metrologia Mecânica, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*e-mail: gregory@ipt.br

Palavras-chave: aquisição de dados; software; metrologia; reconhecimento de caracteres.

Keywords: data acquisition; software; metrology; character recognition.

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados operacionais de um projeto desenvolvido no Laboratório de Metrologia Mecânica do IPT. Trata-se do desenvolvimento e implementação de um software para aquisição automática dos dados das medições, seja por reconhecimento dos números apresentados nos indicadores do instrumento ou por comunicação serial.

Abstract

This paper presents the operational results of a project developed at the Mechanical Metrology Laboratory at IPT. It is about the development and implementation of software for the automatic acquisition of measurement data, either by recognizing the numbers displayed on the instrument's indicators or by serial communication.

1 Introdução

Os clientes constantemente demandam maior qualidade e menor prazo na realização de serviços, exigindo preços mais competitivos, motivando as empresas a buscarem a melhoria contínua de seus processos.

Conforme mostrado por Moreira a automação dos processos se mostra como uma das formas mais convenientes para alcançar tal objetivo, permitindo maior eficiência, produtividade e qualidade (MOREIRA; MAMEDE; SANTOS, 2023).

O Laboratório de Metrologia Mecânica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo desenvolveu um software para aquisição automática dos dados das calibrações, seja por reconhecimento dos números apresentados nos indicadores do instrumento ou por comunicação serial (TACCOLA; SAITA, 2019). A concepção inicial do projeto pode ser vista no esquema apresentado na **figura 1**.

Figura 1 – Concepção inicial do projeto



Fonte: elaborado pelos autores

Após esta concepção inicial, algumas modificações foram realizadas, tais como reconhecimento através do método estatístico de moda (FEIJOO, 2010) de 10 fotos consecutivas e a inclusão da possibilidade de comunicação via protocolo modbus (POLIANYTSIA; STARKOVA; HERASYMENKO, 2017).

Espera-se que, com a implementação do software e das melhorias, o resultado operacional do laboratório evolua para novos patamares.

Então, o objetivo deste trabalho é evidenciar a evolução destes resultados operacionais através da análise dos indicadores de desempenho.

Importante salientar que, como o laboratório busca a melhoria contínua, houve outras ações (como a implementação de documentos digitais e remodelação de processos) que também ajudaram a impactar nos resultados operacionais.

2 Procedimento metodológico

Para a avaliação dos indicadores de desempenho (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2005) foram considerados dados da base desde o ano 2007 para a área de Força e Torque.

Esta área do Laboratório de Metrologia Mecânica (LMM) foi escolhida por ter a implementação do software bem consolidada desde os primeiros meses do ano de 2019.

Os dados foram extraídos do sistema de gestão laboratorial desenvolvido internamente e foram extraídos a quantidades de calibrações executadas, os valores referentes ao faturamento e a quantidade de dias que se levou para realizar os serviços.

Depois foram levantadas as quantidades de colaboradores em cada ano, com o intuito de manter um referencial de comparação.

Desta forma, as análises serão conduzidas com base nos indicadores de desempenho, incluindo a quantidade de calibrações realizadas, a eficiência da equipe medida pela quantidade de calibrações por colaborador, o faturamento gerado e o tempo de execução dos serviços prestados.

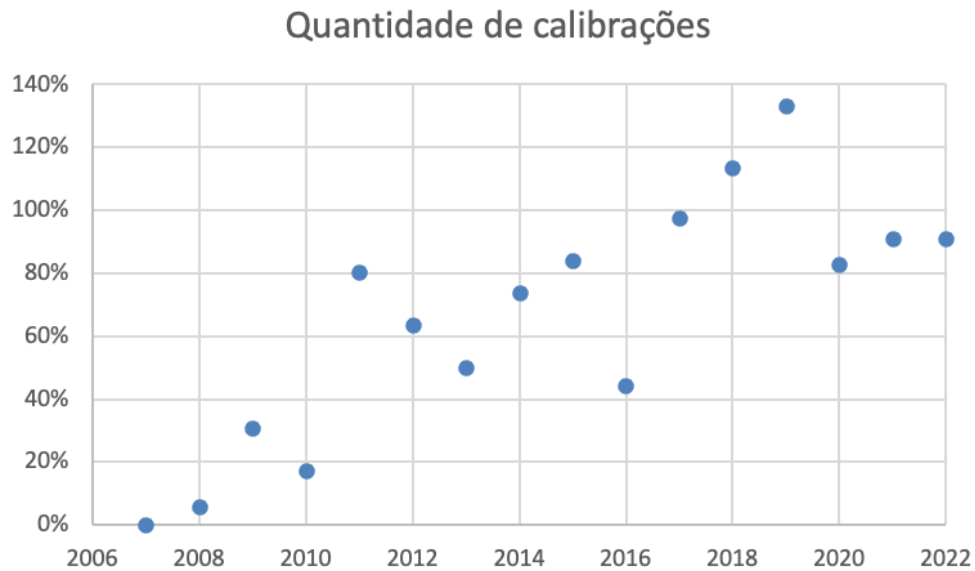
O indicador de quantidade de calibrações será avaliado quanto à sua evolução ao longo dos anos, enquanto o indicador de quantidade de calibrações por colaborador será analisado para avaliar a eficiência demonstrada durante o período. Por fim, os indicadores de faturamento e tempo de execução dos serviços serão examinados para destacar os ganhos tangíveis alcançados por meio do projeto, os quais têm um impacto direto e são notados pelos clientes.

3 Resultados

Os resultados são apresentados em termos relativos considerando como referência os dados de 2007. Ou seja, o eixo das coordenadas representa o aumento percentual ao longo dos anos, tendo como referência os valores obtidos em 2007.

Na **figura 2**, é possível notar que a quantidade de calibrações realizadas pelo laboratório vem em uma tendência de crescimento ao longo dos anos, apesar de algumas oscilações ocorridas no período analisado. É importante salientar que tais oscilações podem decorrer de fatores externos, tais como crises de mercado, entre outros.

Figura 2 - Gráfico da quantidade de calibrações ao longo do tempo

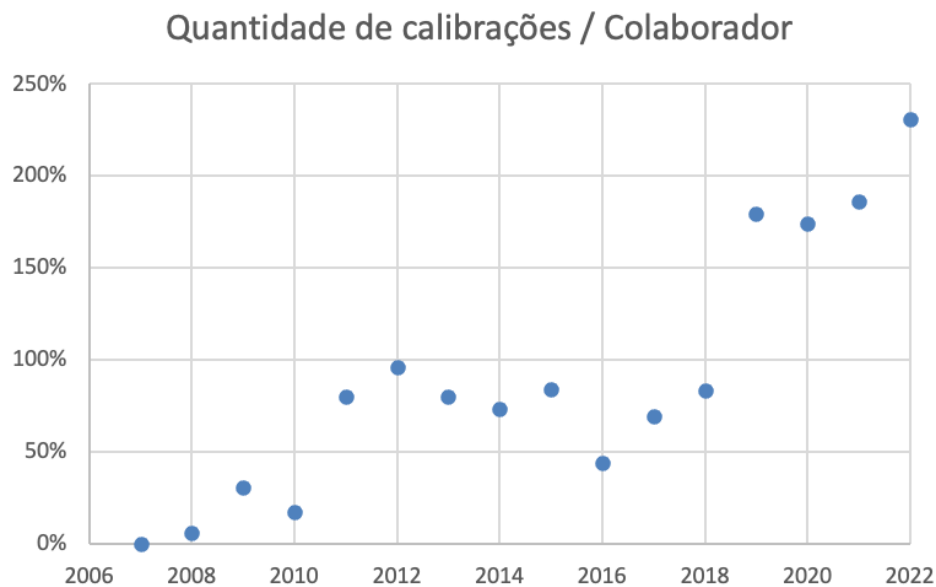


Fonte: elaborado pelos autores

Como a quantidade de calibrações executadas é diretamente impactada pelo número de colaboradores do laboratório, é importante analisar este dado levando essa informação em consideração. Na figura 3 a quantidade de calibrações realizadas é dividida pelo número de colaboradores técnicos e é possível constatar uma tendência de alta mais abrupta nos últimos anos, sendo levemente impactada no ano de 2020 (ano da pandemia da covid-19) (WU; ZHAO; YU et al., 2020).

A tendência mais abrupta se deve a possibilidade de um melhor remanejamento de pessoal técnico devido ao ganho de eficiência em decorrência da implementação do software no ano de 2019.

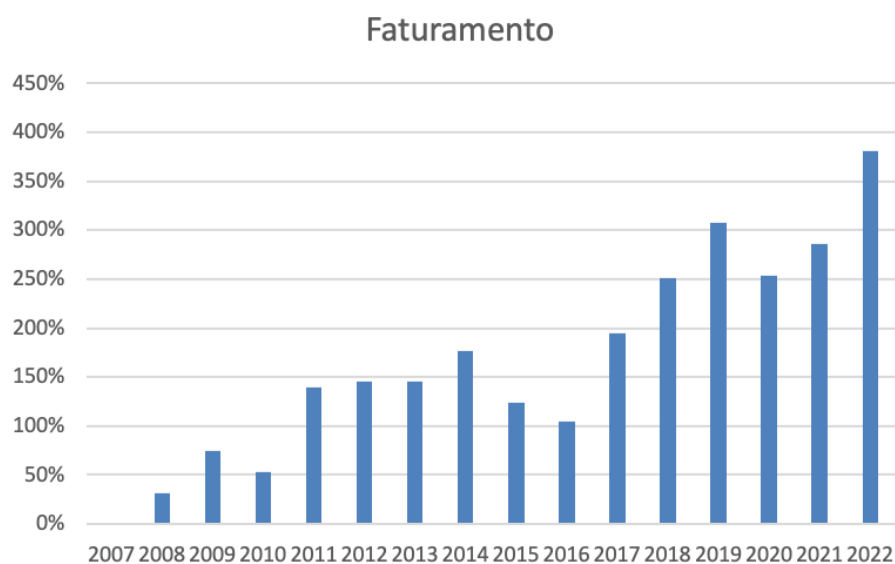
Figura 3 – Gráfico da quantidade de calibrações média por colaborador ao longo dos anos



Fonte: elaborado pelos autores

Uma consequência requerida pelo aumento das calibrações é o aumento do resultado financeiro do laboratório. Na **figura 4** é possível verificar que o faturamento acompanhou a tendência de aumento demonstrada no gráfico da **figura 2**.

Figura 4 – Gráfico do faturamento anual do laboratório ao longo dos anos

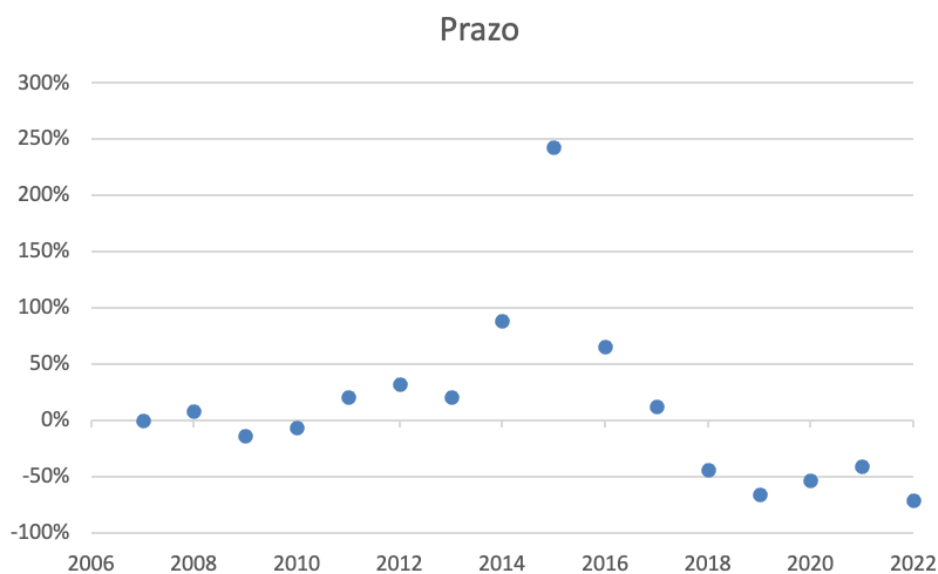


Fonte: elaborado pelos autores

Com relação a qualidade dos serviços prestados, um importante indicador é o de atendimento ao prazo. Na **figura 5** visualizamos o prazo médio de execução dos serviços ano a ano.

Importante destacar que atualmente os serviços estão sendo realizados com um prazo 70% menor (comparados a 2007), mesmo com o aumento de calibrações mostrado na **figura 2** e com menor pessoal técnico alocado (devido a eficiência por técnico evidenciada na **figura 3**).

Figura 5 – Gráfico do tempo médio para execução das calibrações ao longo dos anos



Fonte: elaborado pelos autores

4 Discussão

Importante destacar que, ao longo dos últimos anos houve importantes melhorias no processo que também contribuíram para os resultados apresentados.

Também deve-se salientar que no ano de 2020 os resultados foram impactados negativamente pela quarentena imposta devido à pandemia do Covid-19 (WU; ZHAO; YU et al., 2020) onde o laboratório ficou com as atividades suspensas

durante cerca de dois meses e retornou as atividades com menos colaboradores trabalhando presencialmente.

Ainda assim é possível notar que a quantidade de calibrações e o desempenho financeiro aumentaram, mantendo a tendência de aumento em função da eficiência que o software possibilitou.

Essa eficiência se deu pela possibilidade de um colaborador operar mais de uma máquina simultaneamente, além da viabilidade de alguns colaboradores permanecerem em trabalho remoto (WANG; KIM; MOKHTARIAN, 2023) auxiliando na emissão do documento, uma vez que os registros eram facilmente obtidos na rede do laboratório.

5 Conclusões

O software atendeu com excelência a proposta inicial e isso ficou comprovado através da evolução dos indicadores mesmo durante a pandemia do covid-19 (WU; ZHAO; YU *et al.*, 2020) que impôs sérias restrições de trabalho.

Os resultados demonstraram a viabilidade de aplicação do projeto nos processos de calibração, permitindo maior eficiência no processo, evidenciado pelo aumento de calibrações e do resultado financeiro, sem a necessidade de aumento de mão de obra e realizando os serviços com menores prazos.

6 Referências

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). (2005) EEA core set of indicators **Guide Copenhagen**: EEA. Consulta geral a homepage. Disponível em: < https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_1 >. Acesso em: 11 out. 2022.

FEIJOO, A. M. L. C **Medidas de tendência central In**: A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010. p.14 – 22.

MOREIRA, S.; MAMEDE, H. S; SANTOS, A. **Process automation using RPA** – a literature review, *Procedia Computer Science*, v. 219, p.244-254, 2023.

POLIANYTSIA A.; STARKOVA, O.; HERASYMENKO, K. Survey of the IoT data transmission protocols, **4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications**. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, Ukraine, 2017, p. 369-371

TACCOLA, G. M.; SAITA, M. T. Conference Automatic calibration with character recognition software. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1826, p. 1-8, 2019.

WANG, X. Y.; KIM, S. H.; MOKHTARIAN, P. L. **Teleworking behavior pre-, during, and expected post-COVID**: Identification and empirical description of trajectory types, *Travel Behaviour and Society*, v. 33, 2023.

WU F.; ZHAO S.; YU B.; CHEN Y. M.; WANG W.; SONG Z.G.; HU Y.; TAO Z.W.; TIAN J.H.; PEI Y.Y.; YUAN M.L.; ZHANG Y.L.; DAI F.H.; LIU Y.; WANG Q.M.; ZHENG J.J.; XU L.; HOLMES E.C.; ZHANG Y.Z. **A new coronavirus associated with human respiratory disease in China**. *Nature*, v. 579, p. 265-269, 2020.

10.29327/2202814.7.24-3



Artigo Técnico

Uma Proposta de Metodologia para Estimativa de Incerteza de Medição em pH

A Proposal for a Methodology for Estimating Measurement Uncertainty in pH

Fabício Gonçalves Torres^{a*}, Diogo Cesar Borges Silva^b, Marcel Joly^{cd}

^a Mestrado em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

^b Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

^c Docente do Mestrado Profissional em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

^d Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo, ARSESP - Brasil.

*e-mail: fabrigt@ipt.br

Palavras-chave: metrologia; físico-química; medidor de pH; incerteza de medição

Keywords: metrology; physical chemistry; pH meter; measurement uncertainty

Resumo

Os usuários de medidores de pH mesmo nos dias atuais ainda encontram dificuldades para determinar a incerteza de medição. Com a intenção de encorajar os usuários a utilizar uma nova ferramenta para a estimativa da incerteza em seus processos produtivos, foi desenvolvida uma metodologia que equilibra a simplicidade e o rigor técnico, assim exigindo o mínimo de informação para o fim desejado. Considerando as circunstâncias presentes no Brasil, principalmente, no que diz respeito à disponibilidade de Materiais de Referência Certificados, ficou definido que o melhor método adotado pela ferramenta é o Método de Dois Pontos, já que ele garante que as componentes de incerteza provenientes desses Materiais não sejam negligenciadas, e também apresenta ganhos relacionados ao recurso necessário e o tempo gasto para sua execução.

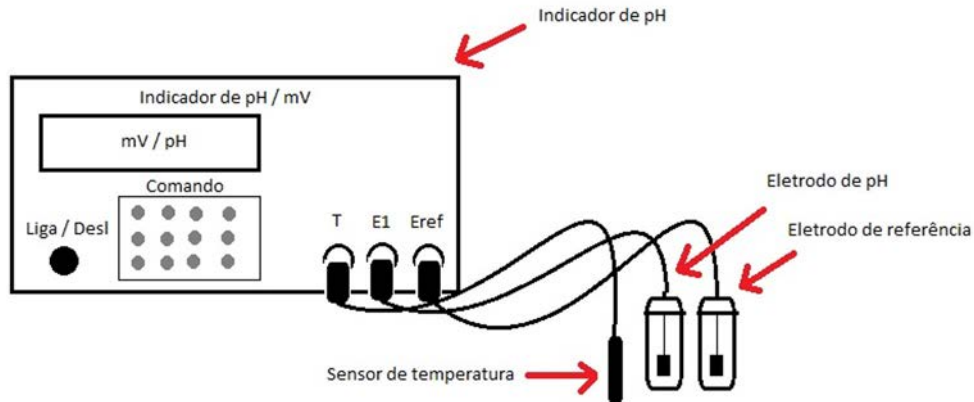
Abstract

Even today, many users of pH meters face difficulties in estimating measurement uncertainty. With the intention of encouraging users to use a new tool for estimating uncertainty in their production processes, a methodology was developed that balances simplicity and technical rigor, thus requiring the minimum amount of information for the desired purpose. Considering the circumstances present in Brazil, mainly with regard to the availability of Certified Reference Materials, it was decided that the best method adopted by the tool is the Two Point Method, since it ensures that the uncertainty components arising from these Materials do not be neglected, and also presents gains related to the necessary resource and the time spent for its execution.

1 Introdução

Um medidor de pH é um equipamento de medição constituído por um mostrador, usualmente digital, e um transdutor (**FIGURA 1**). O mostrador, basicamente, é a interface através da qual a informação de pH é apresentada ao usuário, que funciona como um medidor de tensão contínua, de alta impedância, que lê o sinal de tensão recebido pelo transdutor, e converte seu valor para pH, a partir da Eq. 1.

Figura 1. Medidor de pH composto pelo mostrador (ou indicador), eletrodos e sensor de temperatura.



Fonte: elaborado pelo autor.

$$\text{Valor}_{pH} = 7 - \frac{E F}{\ln(10) R (273,15+T) 1000} \quad (1)$$

Onde,

E: diferença de potencial obtida pelos eletrodos (mV).

F: Constante de Faraday (C/mol).

R: Constante dos Gases [J/(K mol)].

T: Temperatura (°C).

O transdutor, basicamente, é composto pelo eletrodo de medição (E1) e pelo eletrodo de referência (Eref). O eletrodo de medição, sensível ao íon hidrônio (H_3O^+), gera uma tensão proporcional à atividade do íon hidrônio, enquanto que o eletrodo de referência proporciona um valor estável de potencial (METTLER TOLEDO, 2016).

Em muitos medidores de pH, é comum haver um sensor de temperatura acoplado ao transdutor, já que a temperatura da solução influencia na medida de pH.

Ainda que um medidor de pH seja um equipamento comum em laboratórios de físico-química, e que as aplicações das medidas de pH sejam tão vastas quanto qualquer outra grandeza física, como massa, tempo, comprimento, entre outras, há lacunas a serem resolvidas no que diz respeito ao uso desses equipamentos, principalmente com relação à rastreabilidade metrológica e à estimativa da incerteza de medição.

1.1 Desafios Práticos para a Obtenção da Rastreabilidade Metrológica em Medidas de pH

Usualmente, a rastreabilidade metrológica das medidas provenientes de um equipamento de medição é obtida a partir de um processo conhecido como “calibração”. Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), calibração consiste em (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012b):

Operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação.

Em geral, o processo de calibração é realizado por meio de uma comparação direta entre as medidas obtidas pelo item sob calibração e as medidas de um padrão, na mesma unidade de medida do Sistema Internacional de Unidades (SI).

Para o medidor de pH, o processo de calibração, necessário para a obtenção da rastreabilidade metrológica, consiste em duas etapas.

- Calibração da parte elétrica, e
- Calibração do conjunto mostrador + eletrodos.

A calibração da parte elétrica consiste em comparar os valores medidos pelo mostrador de pH com os valores simulados a partir de um padrão de tensão DC, capaz de gerar tensões elétricas na faixa medida pelo item sob calibração.

A relação entre os valores de tensão medidos pelo mostrador e os valores de pH é dada pela Eq. 1, onde, E é a tensão aplicada pelo padrão de tensão DC (mV) e T é a temperatura, usualmente, definida como 25°C.

Uma vez que a medição de pH é diretamente afetada pela medição de tensão (usualmente, em mV) pelo mostrador, a calibração da parte elétrica, executada sem os eletrodos é necessária. A partir dessa calibração, é possível estimar a não-linearidade da faixa, que é uma das componentes que deve ser considerada ao estimar a incerteza da medição.

A calibração da parte elétrica, que é executada sem os eletrodos, é recomendada, pois, com ela, é possível estimar a não-linearidade da faixa.

Já a calibração do conjunto mostrador e eletrodo possui algumas especificidades que devem ser levadas em consideração. Da mesma forma que a parte elétrica, a calibração do conjunto também exige o uso de um padrão. Entretanto, neste caso, são utilizados Materiais de Referência Certificados (MRC), ou seja, soluções produzidas por produtores certificados, que possuem valores e incertezas, com rastreabilidade metrológica, expressas em um Certificado do MRC.

No caso do pH, as soluções utilizadas como padrão têm a finalidade de servir como solução tampão, já que é esperado que os valores de pH dessas soluções se mantenham inalteradas ao longo do tempo, ainda que seja necessário observar o armazenamento adequado desses materiais, respeitando as condições ambientais recomendadas pelo fabricante.

Equivocadamente, a rotina de calibração e ajuste do eletrodo é, usualmente, nomeada como 'autocalibração' por alguns fabricantes desses instrumentos, já que a calibração, por definição, não envolve qualquer tipo de ajuste, seja físico ou via programas de computador (*softwares*). Obviamente, antes da etapa de se executar qualquer ajuste, o processo de calibração deve ser realizado, já que somente a partir dos resultados de uma comparação com uma referência é que se pode realizar, efetivamente, o ajuste. Para que não haja confusão por conta das definições, neste trabalho optou-se por usar o termo 'autoajuste' ao invés de 'autocalibração', por se considerar este termo ser o mais adequado à rotina usada nestas situações.

É importante ressaltar que o ato de somente executar a calibração do conjunto, em laboratório externo, não é suficiente para garantir a confiabilidade metrológica dos resultados de medição deste tipo de instrumento. Isto porque os eletrodos de pH não são estáveis o suficiente para se manterem confiáveis por um longo período de tempo. Esta instabilidade varia de acordo com diversos fatores, tais como: quantidade e tipo de uso, armazenamento e limpeza. Portanto, na prática, é recomendável que, antes do uso do equipamento para a medição de pH, deve-se efetuar calibração e ajuste da curva de Nerst, que relaciona tensão elétrica e pH, para, em seguida, realizar a medida do pH da solução desconhecida, por meio de uso de MRC.

1.2 Visão geral dos métodos para Estimativa de Incerteza de Medição em pH

Segundo a Coordenação Geral de Acreditação (2019), os medidores de pH podem ser autoajustados por meio de dois métodos:

- Método de Dois Pontos, e
- Método de Multipontos

O Método de Dois Pontos consiste em utilizar dois MRC para a obtenção da curva de Nerst, enquanto que o Método de Multipontos levanta a curva de Nerst através de uma regressão linear obtida a partir de 3 a 5 MRCs.

Por meio do Método de Dois Pontos, o mensurando é obtido através da Eq. 2 a seguir.

$$pH(X) = pH(MRC_1) + \frac{E(X) - E(MRC_1)}{E(MRC_2) - E(MRC_1)} \cdot [pH(MRC_2) - pH(MRC_1)] \quad (2)$$

Onde,

pH(X): valor de pH da solução desconhecida.

pH(MRC₁): valor de pH do primeiro MRC utilizado no autoajuste pelo Método de Dois Pontos.

pH(MRC₂): valor de pH do segundo MRC utilizado no autoajuste pelo Método de Dois Pontos.

E(X): valor da diferença de potencial obtida na medição da solução desconhecida.

E(MRC₁): valor da diferença de potencial obtida no autoajuste com o primeiro MRC.

E(MRC₂): valor da diferença de potencial obtida no autoajuste com o segundo MRC.

As principais componentes de incerteza envolvidas no Método de Dois Pontos são apresentadas a seguir.

- Variabilidade das leituras;
- Resolução;
- Incerteza do certificado do MRC de pH(MRC₁) e pH(MRC₂);
- Incerteza devido à não-linearidade da faixa elétrica do medidor;
- Incerteza devido à temperatura, e
- Incerteza devido à junção de referência do eletrodo.

Das componentes de incerteza mencionadas, geralmente, nas condições em que a temperatura é adequadamente controlada à 25 °C, as maiores componentes de incerteza são provenientes dos MRCs utilizados no autoajuste.

Pelo Método de Multipontos, o mensurando é obtido através da curva de Nerst proveniente da regressão linear, conforme Eq. 3.

$$pH(X) = \frac{E_V^0 - E(X)}{k'} \quad (3)$$

Onde,

pH(X): valor de pH da solução desconhecida.

e_V^0 : coeficiente linear da regressão linear.

k' : coeficiente angular da regressão linear.

E(X): valor de tensão medido para a solução desconhecida.

As componentes de incerteza provenientes do Método de Multipontos são apresentadas a seguir.

- Incerteza devido à curva obtida pela regressão linear;
- Variabilidade das leituras;
- Resolução;
- Incerteza devido à não-linearidade da faixa elétrica do medidor;
- Incerteza devido à temperatura, e
- Incerteza devido à junção de referência do eletrodo.

Percebe-se que, no Método de Multipontos, as incertezas correspondentes aos MRCs utilizados no autoajuste são negligenciadas. Entretanto, vale sublinhar que elas somente podem ser efetivamente desprezadas se as incertezas expandidas dos MRCs forem inferiores a pH 0,006 (NAUMANN, ALEXANDER-WEBER & EBERHARDT, 2002). Levando em consideração os MRCs disponíveis por produtores acreditados pela Cgcre (ver **TABELA 1**), é possível constatar que são poucas as opções de MRCs com incertezas inferiores a 0,006 que podem ser negligenciadas.

Tabela 1. Valores e incertezas disponíveis para produção por laboratórios acreditados pela CGCRE.

Valor	Incerteza Mínima	Incerteza Máxima
pH 1,7	pH 0,008	pH 0,018
pH 4,0	pH 0,007	pH 0,024
pH 6,9	pH 0,007	pH 0,029
pH 7,0	pH 0,005	pH 0,027
pH 9,2	pH 0,014	pH 0,038
pH 10,0	pH 0,014	pH 0,054

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2022b).

Embora medidas físico-químicas sejam essenciais e estejam consolidadas como prática comum em ambientes laboratoriais no que diz respeito às medidas de pH, as boas práticas metrológicas ainda não estão amplamente difundidas. Esta afirmação foi evidenciada pelo nosso grupo através de pesquisa prévia envolvendo usuários desses equipamentos. Esta pesquisa demonstrou que, ainda hoje, mais da metade dos usuários não estima a incerteza de medição e, parte dos que estimam, declaram enfrentar dificuldades com relação a esta prática (TORRES; SILVA & JOLY, 2021).

2 Objetivo

Considerando que há um número elevado de usuários de medidores de pH que têm dificuldades para estimar incerteza de medição, o presente trabalho teve o objetivo de desenvolver uma metodologia para cálculo e estimativa de incerteza de medição.

Em uma etapa seguinte desta pesquisa, a mesma foi encapsulada em uma ferramenta computacional disponibilizada na Internet para acesso irrestrito.

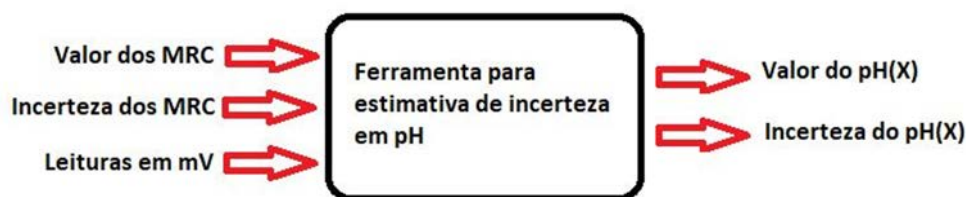
Neste sentido, a metodologia desenvolvida considerou, por premissa, a exigência de um equilíbrio entre a simplicidade e o rigor metrológico, evitando, assim, a necessidade de preenchimento de diversas informações que não contribuem significativamente com o seu propósito. Entretanto, a metodologia permitirá que usuários com conhecimentos mais avançados em estimativa de incerteza, possam, de acordo com as circunstâncias, alterar valores prefixados, para minimizar o risco de subestimar ou superestimar a incerteza de medição.

3 Metodologia

O desenvolvimento da metodologia levou em consideração a aplicação apenas do Método de Dois Pontos, uma vez que este método permite que as incertezas provenientes dos MRCs sejam consideradas, pois, conforme evidenciado pela **TABELA 1**, elas não podem ser negligenciadas no outro método.

A **FIGURA 2** apresenta os dados de entrada e saída envolvidos na metodologia proposta.

Figura 2. Dados de entrada e saída da ferramenta proposta.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para o adequado uso da metodologia, é requerido que:

- O usuário preencha os valores dos MRCs (com suas respectivas incertezas) provenientes dos Certificados dos MRC;
- As leituras dos MRCs e do pH(X) sejam realizadas em tensão (mV);
- A temperatura das amostras seja controlada em banho termostaticado, a 25 °C, cuja variabilidade seja menor que 0,1 °C, e
- O mostrador de pH possua resolução para tensão superior ou igual a 1 mV.

O Método de Multipontos poderia ser implementado, com algumas alterações, de forma que as componentes de incerteza dos MRCs fossem incorporadas. Todavia, o revés desta abordagem é o fato de que isso traria mais complexidade ao processo de cálculo. Adicionalmente, entende-se que o Método de Dois Pontos, quando adequadamente aplicado, possui outras vantagens. Incluídas aqui estão a exigência de menos recursos, já que são necessários somente dois MRCs para o processo de autoajuste, e também, a redução do tempo, já que o número de leituras necessárias também é reduzido, comparado com o Método de Multipontos.

4 Resultados

A metodologia foi desenvolvida considerando a quantidade mínima de informação que o usuário deve preencher. Uma ferramenta baseada na metodologia proposta foi desenvolvida e tem sua interface principal ilustrada na **FIGURA 3**. Nesta figura, as células cinzas indicam os dados de entrada, ou seja, os dados a serem preenchidos pelo usuário, enquanto que as células verdes indicam os dados de saída, ou seja, o valor de pH(X) obtido a partir da curva de Nerst autoajustado e sua respectiva incerteza de medição.

Figura 3. Ferramenta proposta, considerando o Método de Dois Pontos.

Entrada de dados

MRC pH maior	6,859	(pH)
Incerteza pH maior	0,023	(pH)
MRC pH menor	4,007	(pH)
Incerteza pH menor	0,026	(pH)

leituras em: mV pH

Leitura 1 pH maior	-15,1	(mV)
Leitura 2 pH maior	-15,1	(mV)
Leitura 3 pH maior	-15,1	(mV)
Leitura 1 pH menor	153,8	(mV)
Leitura 2 pH menor	153,8	(mV)
Leitura 3 pH menor	153,8	(mV)
Leitura 1 pH desconhecido	153,8	(mV)
Leitura 2 pH desconhecido	153,7	(mV)
Leitura 3 pH desconhecido	153,6	(mV)

Resultados

pH X = 4,009 pH
U pH X ± 0,048 pH

Fonte: elaborado pelo autor.

É importante ressaltar que a metodologia é aplicável a qualquer ponto na faixa de pH, seja ela ácida, neutra ou alcalina. Entretanto, é esperado que o usuário escolha adequadamente os MRCs de acordo com o valor esperado de pH(X) a ser medido.

Diferentemente do que ocorre nas funções de auto ajuste de alguns medidores de pH, que fixam os pontos de MRC, sendo um deles o valor de pH 7, intitulado pH(0), esta metodologia não exige que um dos MRC seja de valor neutro. É necessário, apenas, que o valor a ser preenchido na célula do pH(maior) seja numericamente maior que o valor do pH(menor). É recomendável também que o usuário escolha os valores de MRC mais próximos possíveis do pH(X), e de forma que o pH(X) esteja entre os valores dos MRC escolhidos.

Como exemplo, se o usuário necessitar efetuar a medição de uma solução cujo valor de pH seja aproximadamente 3,0. Considerando os valores disponíveis na TABELA 1, o usuário deve dispor dos MRC de 1,7 e 4,0, sendo que o valor de 1,7 deve ser preenchido em pH(menor), enquanto que o de 4,0, em pH(maior). Percebe-se que, neste caso, não foi necessário o uso do MRC de pH 7,0, já que, o ajuste da curva, entre 1,7 e 7,0 poderia causar piora na exatidão da medida devido à influência da não-linearidade da faixa do medidor de pH, ou seja, um risco que pode ser reduzido ao definir um ajuste da curva num segmento menor, entre 1,7 e 4,0, por exemplo.

Na FIGURA 4 são ilustradas as variáveis que podem ser editadas pelo usuário. Vale ressaltar que elas são previamente valoradas com parâmetros *default*, ou seja, valores que foram definidos de acordo com manuais de fabricante, e por meio de análise da influência de cada variável na incerteza expandida da medição.

Figura 4. Demais variáveis pré-fixadas para o usuário, porém, com possibilidade de edição.

Configurações		
Resolução em tensão	1	(mV)
Incerteza do termômetro	0,1	(°C)
Variabilidade da temperatura	0,1	(°C)
Não-linearidade da faixa	0,1	(%)
Junção de referência	0,6	(mV)

Ocultar configurações

Fonte: elaborado pelo autor.

A estimativa de incerteza é calculada segundo o Guia para a Expressão de Incerteza de Medição – GUM (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012a) em duas partes. Primeiramente, obtêm-se o valor do coeficiente angular k' e, em seguida, obtêm-se o valor de $pH(X)$. As **Figuras 5 e 6** apresentam as contribuições na incerteza expandida da medição para k' e para $pH(X)$, respectivamente. Estes valores apresentados são baseados a partir de simulação com os dados de entrada pertencentes ao documento orientativo da Cgcre (COORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO, 2019).

Figura 5. Estimativa da incerteza de medição do coeficiente angular k' .

Componente	uxi	div	coef	uxi*coef/div	(uxi*coef/div) ²	Contrib. %
Variabilidade eMaior	0.0000	2.0000	0.3506	0.0000	0.0000	0.0000
Resolucao eMaior	0.5000	1.7321	0.3506	0.1012	0.0102	6.1954
Resolucao eMaior	0.5000	1.7321	0.3506	0.1012	0.0102	6.1954
Resolucao eMenor	0.5000	1.7321	0.3506	0.1012	0.0102	6.1954
Certificado pH Maior	0.0230	2.0000	20.7649	0.2388	0.0570	34.4833
Certificado pH Menor	0.0280	2.0000	20.7649	0.2899	0.0729	44.0656
Variabilidade temp.	0.1000	1.7321	0.1984	0.0115	0.0001	0.0794
Certificado temp.	0.1000	2.0000	0.1984	0.0099	0.0001	0.0595
Junção de ref.	0.6000	1.7321	0.3506	0.1215	0.0148	8.9214
				Total	0.1654	
				uc	0.4067	
				veff	4763282.1982	
				k	2.0000	
				U	0.8133	

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6. Estimativa da incerteza de medição de pH(X).

Componente	uxi	div	coef	uxi*coef/div	(uxi*coef/div) ²	Contrib. %
Certificado pH Maior	0.0230	2.0000	1.0000	0.0115	0.0001	23.3742
Variabilidade eMaior	0.0000	2.0000	0.0169	0.0000	0.0000	0.0000
Resolução eMaior	0.5000	1.7321	0.0169	0.0049	0.0000	4.1995
Variabilidade Ex	0.1000	2.0000	0.0169	0.0008	0.0000	0.1260
Resolução eX	0.5000	1.7321	0.0169	0.0049	0.0000	4.1995
Incerteza k'	0.8133	2.0000	0.0481	0.0196	0.0004	67.7039
Não Linearidade elétrica	0.1537	1.7321	0.0169	0.0015	0.0000	0.3968
				Total	0.0006	
				uc	0.0238	
				veff	1890077.0335	
				k	2.0000	
				U	0.0476	

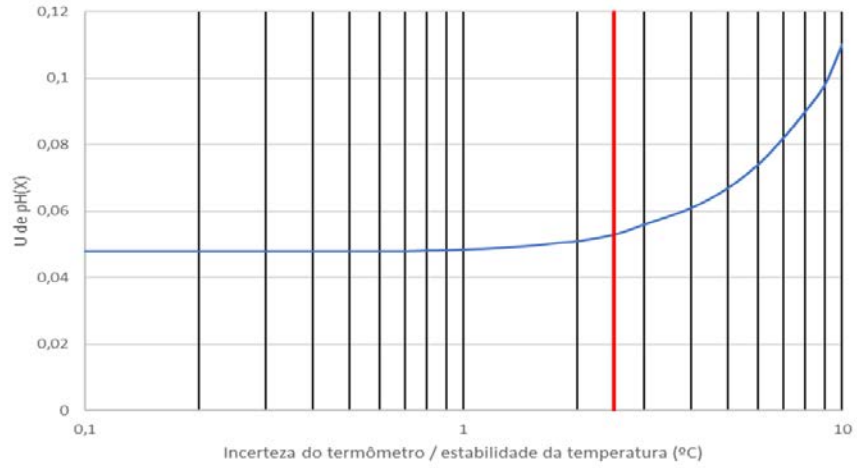
Fonte: elaborado pelo autor.

5 Discussão dos Resultados

Para a tomada de decisão na atribuição de valores das variáveis que compõe a incerteza expandida da medição, que estão presentes na ferramenta, foi necessária uma análise da influência de algumas das componentes de incerteza presentes no mensurando, quais sejam, incerteza do termômetro, estabilidade da temperatura, resolução do medidor, junção de referência e não-linearidade do medidor.

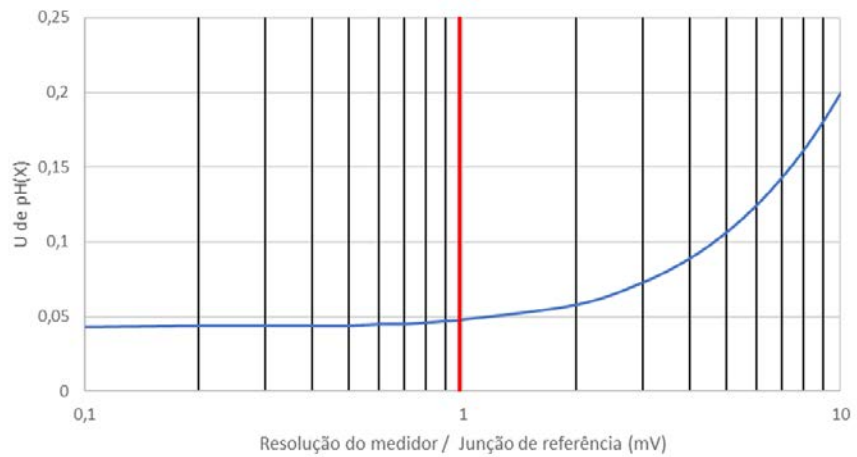
Os resultados estão ilustrados nas **Figuras 7 a 9**. Nestas figuras, os gráficos foram gerados mantendo-se os demais valores fixos e variando apenas a componente analisada. A linha vertical vermelha indica o ponto na escala em que a componente começa a aumentar a incerteza de pH(X) mais que 10% do seu valor e, portanto, torna-se mais significativo.

Figura 7. Contribuição individual da componente “incerteza do termômetro” / “estabilidade da temperatura” para a estimativa de incerteza de pH(X) – Método de Dois Pontos.



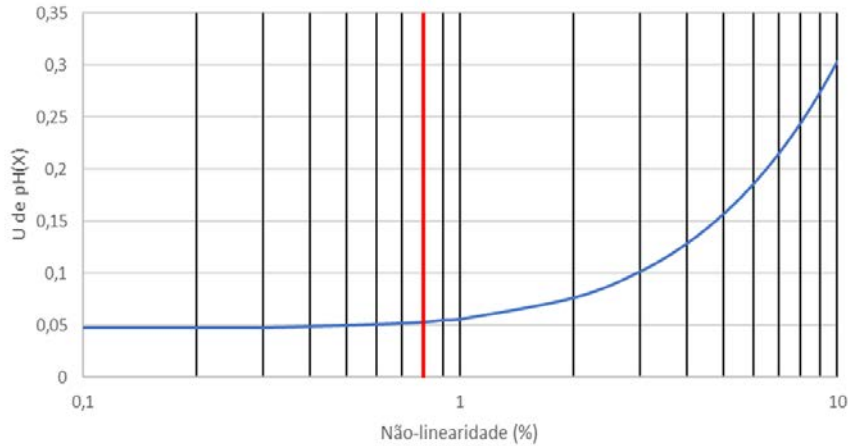
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8. Contribuição individual da componente “resolução do medidor” / “junção de referência” para a estimativa de incerteza de pH(X) – Método de Dois Pontos.



Fonte: elaborado pelo autor.

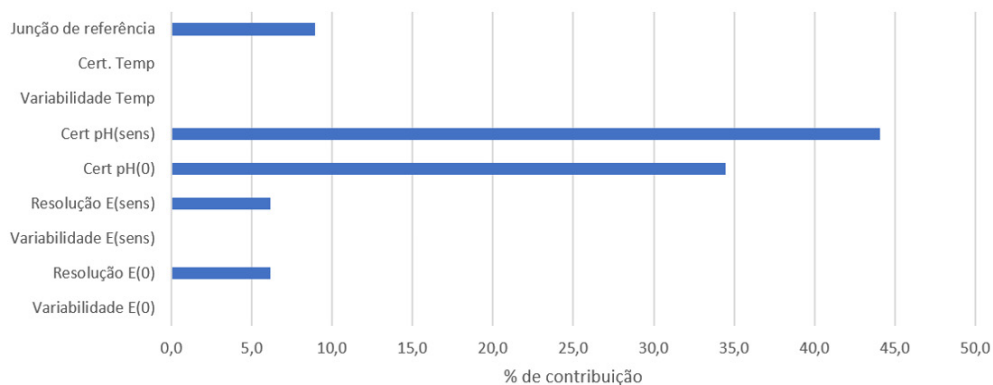
Figura 9. Contribuição individual da componente “não-linearidade” para a estimativa de incerteza de pH(X) – Método de Dois Pontos.



Fonte: elaborado pelo autor.

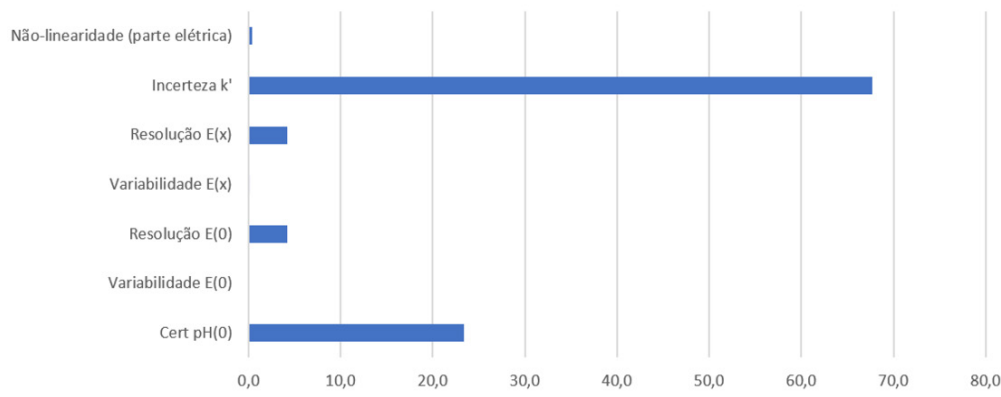
Adicionalmente, a partir da simulação realizada por meio dos dados de entrada do Documento Orientativo da Cgcre, foi possível estimar a contribuição relativa de cada componente, com os valores prefixados, conforme demonstradas nas **Figuras 10 e 11**.

Figura 10. Contribuição das componentes de incerteza para a estimativa de incerteza de k' – Método de Dois Pontos.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11. Contribuição das componentes de incerteza para a estimativa de incerteza de pH(X) – Método de Dois Pontos.



Fonte: elaborado pelo autor.

É possível identificar que, na estimativa da incerteza de k' e, conseqüentemente, de $pH(X)$, as principais componentes de incerteza são provenientes dos MRCs utilizados no autoajuste da curva de Nerst. Os valores das demais componentes de incerteza, prefixados no programa, embora sejam contabilizados na incerteza expandida da medição, possui menor contribuição. De fato, de acordo com as **Figuras 7 a 9**, os valores são iguais ou inferiores aos valores que delimitam uma atenção maior, já que, caso maiores, poderiam influenciar mais na incerteza expandida. E, portanto, é importante ressaltar que, embora as variáveis, tais como resolução, incerteza do termômetro, entre outros, estejam prefixados, cabe ao usuário avaliar a pertinência de alterar estes valores, em circunstâncias que exigem estas alterações, embora, sejam casos atípicos no processo da medida de pH, com equipamento em adequado funcionamento.

Apesar de não haver necessidade de o usuário efetuar o autoajuste definido pelo fabricante do medidor de pH, é recomendável que este autoajuste também seja realizado como checagem operacional, pois, ele pode auxiliar na identificação de problema com o eletrodo, que pode acarretar em perda de exatidão, principalmente, por conta da instabilidade das leituras.

6 Conclusão

Com a intenção de encorajar e auxiliar os usuários de medidores de pH a estimarem a incerteza de medição em seus processos produtivos, foi desenvolvida uma ferramenta para estimativa de incerteza destes instrumentos.

Embora seja de consenso na literatura que o Método de Multipontos apresenta menor incerteza de medição, isso somente é válido para o caso em que as incertezas dos MRC disponíveis sejam inferiores a pH 0,006, o que não é o caso aplicável aos produtores acreditados pela Cgcre em território nacional. Isto faz com que as incertezas provenientes dos MRCs devam ser consideradas no Método de Multipontos, tornando o processo mais dispendioso.

Portanto, a ferramenta foi desenvolvida empregando o Método de Dois Pontos, uma vez que se buscou equilíbrio entre simplicidade e rigor técnico, tendo em consideração a complexidade do processo, o tempo necessário, o custo envolvido e o cenário nacional.

As figuras 3, 4, 5 e 6, são oriundas desta ferramenta que pode ser acessada através do *link* <https://github2diogo.github.io/pHmetodo2pontos/>.

7 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 17025**: Requisitos gerais para a competência de produtores de material de referência. Rio de Janeiro. 2017a.

COORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO. Documento de Caráter Orientativo - Orientações para Aplicação dos Requisitos Técnicos da ABNT ISO/IEC 17025 na Acreditação de Laboratórios de Calibração para o Grupo de Serviço de Físico-Química. CGCRE, 2019, rev. 3, 45 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Produtores de Materiais de Referência**. Disponível em: < <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/acreditacao/organismos-acreditados/produtores-de-materiais-de-referencia>>. Acesso em: 24 jan. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Guia para Expressão da Incerteza de Medição – GUM**. Rio de Janeiro: 2012a, 1ª ed., 141 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)**: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. 1ª Edição Luso-Brasileira, 2012b, 93 p.

INMETRO. **Guia para Expressão da Incerteza de Medição – GUM**. Rio de Janeiro: 2012b, 1ª ed., 141 p.

METTLER TOLEDO. **A Guide to pH Measurement – Theory and Practice of Laboratory pH Applications**. Suíça: 2016, 60p.

NAUMANN, R.; ALEXANDER-WEBER, CH.; EBERHARDT, R. **Traceability of pH measurements by glass electrode cells**: performance characteristic of pH electrodes by multi-point calibration. In: ANALYTICAL AND BIOANALYTICAL CHEMISTRY, 374, 778–786 (2002).

TORRES, F. G.; SILVA, D. C. B.; JOLY, M. Uma Pesquisa com Usuários sobre Gestão Metrológica na Área de Físico-Química. **Revista IPT**, v. 5, p. 45-66, 2021.

10.29327/2202814.7.24-4



Artigo Técnico

Regulamentações técnicas e seus fatores de contorno: nutriente açúcar como exemplo de caso

*Technical regulations and their boundary
factors: sugar nutrient as a case example*

Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo^{a*},
Luciana Casciny Pacífico^a, Olga Satomi Yoshida^a

^a Unidade de Tecnologias
Regulatórias e Metrológicas

*e-mail: malu@ipt.br

Palavras-chave: regulamentações
técnicas; notificações; açúcar

Keywords: technical regulations;
notifications; sugar

Resumo

O açúcar é um produto/ingrediente presente nas dietas de todos os países e está entre os que podem causar efeitos indesejáveis à saúde, caso ingerido em excesso, o que leva à necessidade de regulamentações. O objetivo deste estudo foi formar uma base de informações necessárias para a elaboração de regulamentações referentes ao ingrediente/produto açúcar. Foram vistos: literatura técnico-científico sobre o tema; documentos regulatórios e de orientação existentes no Brasil; e características de mercado. O levantamento da literatura permitiu observar que a preocupação com a diminuição do consumo de açúcar é uma tendência global. No Brasil os regulamentos e recomendações sobre o açúcar procedem do Ministério da Agricultura, Pesca e Agropecuária ou do Ministério da Saúde/Agência de Vigilância Sanitária, mas há espaço para aprimoramento das regulamentações. O Brasil apresenta para o mercado de açúcar uma situação peculiar, pois as usinas são de açúcar-etanol e enfatizam a produção de um em detrimento do outro, de acordo com o que será mais rentável, levando a uma oscilação da produção anual, o que dificulta o estabelecimento de correlações diretas entre produção e consumo. A preocupação em relação ao consumo excessivo do açúcar leva os consumidores a mudar suas dietas e hábitos, os órgãos governamentais a atender demandas por regulamentações técnicas e os fabricantes de alimentos a enfrentar pressões no sentido de diminuir a quantidade desse nutriente em seus produtos.

Abstract

Sugar is an ingredient / a product found in all diets across the world and that can cause undesirable health issues if consumed in excess, thus requiring regulation. The objective of this study was to obtain all necessary information to serve as basis for regulations on sugar products. Technical-scientific literature on the subject was studied, as well as the Brazilian regulatory and guidance documents and market characteristics. The research showed that reduction of sugar consumption is a global trend. In Brazil, regulations and recommendations on sugar come from the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply or from the Ministry of Health/Brazilian Health Regulatory Agency, but there are opportunities for regulations improvements. The

Brazilian market presents a peculiar situation regarding sugar production because the mills make sugar and ethanol and emphasize the production of one over the other according to what will be more remunerative, which results in an oscillation in annual production making it difficult to establish direct correlations between consumption and consume. The awareness of the harmful effects of excessive sugar consumption leads consumers to change their diets and habits, government agencies to face demands for technical regulations and pressures food manufactures to reduce the amount of sugar in their products.

1 Introdução

As regulamentações ocorrem por meio de entidades governamentais e estão relacionadas principalmente a questões técnicas, econômicas e sociais.

Dois tipos de regulamentação se destacam: Regulamentação Técnica e Regulamentação Econômica. Embora ambas sejam estabelecidas por órgãos governamentais, na primeira tem-se requisitos de cumprimento compulsórios relacionados, principalmente, à saúde, segurança, preservação ambiental, bem-estar humano e animal e prevenção de práticas enganosas, enquanto na segunda o foco é no funcionamento do mercado e no comportamento dos seus agentes (TIRONI, 2022).

Regulamentações técnicas, foco deste trabalho, remetem em sua maioria a situações particulares, uma vez que cada país passa ao longo do tempo por evoluções tecnológicas diferentes, em teor e em velocidade, logo as necessidades ocorrem de forma desigual e as regulamentações devem se adaptar a elas. No entanto, demandas do comércio global podem impulsionar regulamentações técnicas específicas.

A Regulamentação técnica pode trazer diversos benefícios, mas também pode criar entraves. Deste modo, é primordial fazer uma Análise de Impacto Regulatório (AIR) (BRASIL, 2020c). Todos os envolvidos no tema da Regulamentação Técnica devem contribuir, sendo órgãos governamentais ou não, como confederações e associações. Ainda, as Regulamentações técnicas em sua maioria têm caráter nacional, pois devem atender a contextos e questões específicas de um país.

Associações de classe, organizações não governamentais e, inclusive, parte da sociedade, podem exercer pressões por atitudes em determinado tema que culminam em regulamentos técnicos ou documentos correlatos. Este fato torna ainda mais importante a necessidade de conhecer os principais aspectos relacionados ao tema a ser regulamentado, denominados de modo geral como “fatores de contorno”, para que haja análise crítica durante todo o processo de elaboração de uma dada regulamentação.

Pode-se dizer que para qualquer tema os principais “fatores de contorno” são: o conhecimento técnico sobre o tema; o conhecimento das regulamentações relativas a ele; e o conhecimento do contexto de mercado que o envolve. Por outro lado, não se deve pensar que o levantamento desses fatores consiste em tarefa simples e que podem ser generalizados.

A título de ilustração, um panorama destes “fatores de contorno” será apresentado para o nutriente açúcar, a fim de mostrar a complexidade intrínseca a cada um deles. Para tal foi efetuado:

- um levantamento da literatura técnico-científica desse nutriente, sendo apresentado apenas os trabalhos pertinentes ao contexto desenvolvido;
- um levantamento de documentos regulatórios e de orientação existentes no Brasil;
- um levantamento de dados sobre o mercado relacionado a esse nutriente, apontando as características do mercado brasileiro.

O nutriente açúcar, presente nas dietas de todos os países, está entre aqueles que podem causar efeitos indesejáveis à saúde, tais como diabetes, obesidade e riscos vasculares, caso ingerido em excesso. A orientação da *World Health Organization* (2022) e da *Food and Agriculture Organization* (2022) é de que esse nutriente não deve exceder 10 % do total de suprimento de energia da dieta diária.

O objetivo desse trabalho é mostrar que Regulamentações Técnicas geralmente envolvem um universo complexo e demandam dados advindos de estudos bem desenhados e aderentes às complexidades do tema a ser regulamentado.

2 Nutriente açúcar: recomendações e particularidades

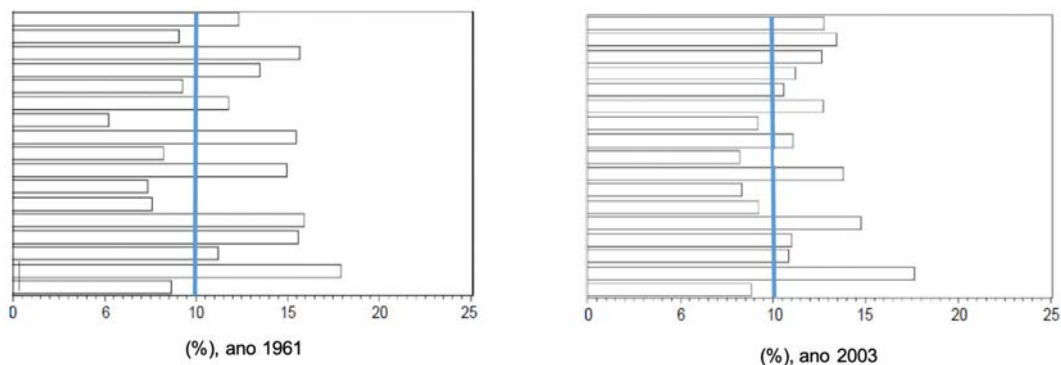
As orientações referentes às quantidades ideais de consumo diário para vários nutrientes, dentre os quais o açúcar, são principalmente da *World Health Organization* (2022) e da *Food and Agriculture Organization* (2022). Além dessas organizações, há outras que, embora tenham caráter regional e não internacional, são altamente consideradas e sua influência não é apenas local, como a SACN (2022) e a EFSA (2022). Entretanto as informações dadas por essas entidades são convergentes.

Dos estudos envolvendo o nutriente açúcar, dois merecem particularmente citação por trazerem informações e aspectos de grande valia e aplicação. São eles o de Schmidhuber e Traill (2005) e o documento de posicionamento da Universidade de Zurique.

No estudo de Schmidhuber e Traill (2005), que embora publicado em 2005 vale ser citado pela sua abrangência, foram avaliadas as dietas na União Europeia em relação às recomendações da OMS e FAO. O estudo mostra como as dietas mudaram de 1961 a 2001. Os dados obtidos confirmaram o consumo excessivo das gorduras saturadas, colesterol e açúcares por quase todos os países europeus e, também, a convergência da ingestão de nutrientes na União Europeia (UE) ao longo do tempo. Em 1961 as dietas em vários países europeus eram mais semelhantes à dieta dos Estados Unidos da América (EUA) do que às dietas de outros países europeus; porém, em 2001 as dietas da UE se tornaram, como um todo, mais homogêneas na Comunidade Europeia e menos semelhante à dieta dos EUA.

Schmidhuber e Traill (2005), em relação à recomendação da OMS da energia do açúcar não exceder 10 % do total de suprimento de energia da dieta diária, observaram, comparando os dados de 1961 e 2003, que muitos dos países da Europa aumentaram o consumo de açúcar ficando mais próximos do valor limite de 10 %, sendo esse fato ilustrado na **FIGURA 1**. Estudos como esse são importantes, por permitir conhecer como as dietas estão distantes, ou mudando, em relação as diretrizes da OMS/FAO. Este conhecimento é relevante para formadores de política pública, para priorização de recursos, para elaboração de regulamentações e, principalmente, para fabricantes de produtos que incluem os nutrientes considerados pela OMS/FAO.

Figura 1 - Ilustração da participação de açúcares e adoçantes na disponibilidade total de energia em países da EU e nos EUA, em porcentagem para os anos de 1961 e 2003



Fonte: adaptado de Schmidhuber e Traill (2005)

Embora quase vinte anos tenha se passado da publicação do estudo de Schmidhuber e Traill (2005), os conceitos abordados e questões a serem enfrentadas são basicamente os mesmos e guardam a mesma complexidade. Percebe-se que: nem sempre é possível obter dados sobre a disponibilidade de alimentos em nível de país com nutrientes relevantes; normalmente as estimativas de consumo de alimentos, quando existentes, refletem informações sobre a disponibilidade de alimentos em nível nacional, e não familiar, individual ou de grupos; a disponibilidade de alimento é função de diversos fatores, entre eles a produção de commodities, comércio local e global, grau de processamento dos alimentos, maturidade da indústria de alimentos, estoques e uso de alimento para produção de ração.

Um fator que também influi na disponibilidade de alimentos é referente às perdas pós-colheita, nem sempre possíveis de serem estimadas, mesmo porque elas não são uniformemente distribuídas em diferentes itens alimentares.

O outro documento mencionado como merecedor de citação é o de posicionamento da Universidade de Zurique, publicado em 2017, sobre açúcar para bebês, crianças e adolescentes (FIDLER *et al.*, 2017). O estudo concluiu que o consumo de bebidas açucaradas e açúcares livres para esse grupo era muito alto e excedia o valor recomendado de consumo diário. Bebidas açucaradas e açúcares livres aumentam o risco de sobrepeso/obesidade e cáries dentárias e podem resultar em deficiência de nutrientes e dieta com diversidade reduzida, além de estarem associados a diabetes e riscos cardiovasculares.

Esse documento recomenda que as autoridades adotem políticas destinadas a reduzir a ingestão de açúcares livres por bebês, crianças e adolescentes, o que pode incluir educação, rotulagem aprimorada, restrição de publicidade, introdução de padrões de refeição para as escolas, além de medidas fiscais, dependendo das circunstâncias locais. Ele traz:

- classificação de tipos de açúcares e suas fontes principais, que, por ser um resumo simples e didático, é transcrita aqui, de forma traduzida, como **Quadro 1**;
- denominações correntes em recomendações dietéticas, e em estudos de pesquisa, que são transcritas aqui, de forma traduzida, como **Quadro 2** e engloba açúcares livres e adicionados.

Quadro 1 – Classificação química dos açúcares e suas fontes

Açúcar	Componente	Fonte
Monossacarídeos	Glicose	Frutas, sucos de plantas, mel, bebida de arroz
	Galactose	Leite e produtos lácteos (ocorre no leite ligado a glicose para formar lactose)
	Frutose	Frutos maduros (bagas), mel (no estado livre junto com glicose); muitas vezes ligado a glicose para formar sacarose
Dissacarídeo	Sacarose (glicose + frutose)	Açúcar de mesa/cana/beterraba, mel, xarope de milho, leite em pó de soja
	Lactose (glicose + galactose)	Leite e produtos lácteos, leite humano e leite em pó
	Maltose (2 moléculas de glicose)	Maltose ou açúcar de malte derivado da hidrólise do amido (de: milho, trigo, tapioca, batata, milho/xarope de glicose) ou produzidos pela caramelização de glicose; encontrado em sementes em germinação (cevada), malte e bebida de arroz

Fonte: Fidler *et al.* (2017, p. 4, tradução própria)

Quadro 2 – Definições correntes para açúcares em recomendações dietéticas

Recomendações dietéticas	Açúcares totais	
OMS, SACN	Açúcares livres (açúcares extrínsecos): açúcares não contidos dentro da estrutura celular; (a) açúcares (monossacarídeos e dissacarídeos) adicionados aos alimentos e bebidas pelo fabricante, cozinheiro ou consumidor; (b) açúcares naturalmente presentes no mel, xaropes, frutas sumos e concentrados de sumos de fruta	De ocorrência natural (açúcares intrínsecos): açúcares naturais incorporados dentro das paredes celulares intactas da planta (por exemplo, incorporados à estrutura celular dos alimentos; açúcares em frutas ou vegetais intactos), lactose e galactose no leite
EFSA	Açúcares adicionados: sacarose, frutose, glicose, amido hidrolisados (xarope de glicose, xarope de alto teor de frutose, isoglicose) e outras preparações isoladas de açúcar utilizadas como tal ou adicionados durante a preparação de alimentos e fabricação	Açúcares de ocorrência natural ("nativos"): açúcares naturalmente presentes em alimentos como frutas, legumes, cereais, lactose em produtos lácteos
EUA	Açúcares adicionados: açúcares e xaropes que são adicionados aos alimentos durante o processamento e preparação	Açúcares naturais: lactose no leite, frutose nas frutas

Fonte: Fidler *et al.* (2017, p. 4, tradução própria)

Obs. **OMS** = Organização Mundial da Saúde; **SACN** - *The United Kingdom Scientific Advisory Committee on Nutrition*; **EFSA** - *European Food Safety Authority*; **EUA** - Estados Unidos da América (*American Heart Association*; *The Institute of Medicine*).

Deve ser lembrado que açúcares são encontrados naturalmente em frutas, legumes e em alguns grãos, assim como no leite e produtos lácteos. Também são adicionados para adoçar alimentos e bebidas, melhorar sua palatabilidade, sua conservação e conferir atributos funcionais como viscosidade, textura, corpo e cor. Ainda, as denominações usadas em recomendações não são necessariamente iguais às usadas em regulamentos e rotulagem de alimentos.

Trabalhos, como os citados, de alerta sobre o consumo excessivo não apenas de açúcar, mas de outros nutrientes são cada vez mais frequentes e procedentes de diversas regiões geográficas, mostrando o alastramento de um senso comum. A título de exemplo podem ser citados os seguintes estudos: Misra *et al.* (2016) com autores dos Emirados Árabes; Haque *et al.* (2020) envolvendo autores da Malásia, Itália e Reino Unido; Ricco (2016) autor do Brasil.

3 Regulamentos e recomendações brasileiras sobre açúcar

Regulamentos e recomendações existentes estão entre as informações essenciais que devem ser consideradas na construção de documentos e instruções regulatórias sobre determinado tema. No caso do Brasil, para o açúcar como nutriente, têm-se as seguintes regulamentações:

MAPA Instrução (IN) nº 47, de 30 de agosto de 2018 (BRASIL, 2018)

- Esta Instrução estabelece o Regulamento Técnico do Açúcar, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto. Essa instrução classifica o açúcar em função dos requisitos de identidade (definido pela espécie da matéria prima da qual originou) e qualidade (definidos em função dos parâmetros estabelecidos nos Anexos I e II da Instrução).

MS/ANVISA Resolução (RDC) nº 429 de 2 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020b)

- Esta Resolução dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados e traz várias definições, sendo referentes ao açúcar as apresentadas a seguir.
 - Açúcares adicionados como ‘todos os monossacarídeos e dissacarídeos adicionados durante o processamento do alimento, incluindo as frações de monossacarídeos e dissacarídeos oriundos da adição dos ingredientes açúcar de cana, açúcar de beterraba, açúcares de outras fontes, mel, melaço, melado, rapadura, caldo de cana, extrato de malte, sacarose, glicose, frutose, lactose, dextrose, açúcar invertido, xaropes, maltodextrinas, outros carboidratos hidrolisados e ingredientes com adição de qualquer um dos ingredientes anteriores, com exceção dos poliois, dos açúcares adicionados consumidos pela fermentação ou pelo escurecimento não enzimático e dos açúcares naturalmente presentes nos leites e derivados e dos açúcares naturalmente presentes nos vegetais, incluindo as frutas, inteiros, em pedaços, em pó, desidratados, em polpas, em purês, em sucos integrais, em sucos reconstituídos e em sucos concentrados.’

- Açúcares totais como ‘todos os monossacarídeos e dissacarídeos presentes no alimento que são digeridos, absorvidos e metabolizados pelo ser humano, excluindo os poliois’. (BRASIL, 2020b)

MS/ANVISA Instrução Normativa (IN) nº 75, de 8/10/2020 (BRASIL, 2020a)

- Esta Instrução estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados.

Melhorias nas RDC 429 e IN 75, outubro 2020 (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2022)

- A ANVISA efetuou mudanças significativas no modo como é apresentada a Tabela de Informação Nutricional em rótulos, tendo como objetivo melhorar a clareza e legibilidade dos rótulos dos alimentos e permitir comparação entre produtos, assim auxiliar o consumidor a fazer escolhas. Uma grande inovação é a rotulagem nutricional frontal, símbolo informativo que deve constar no painel da frente da embalagem, com o objetivo de indicar ao consumidor, de forma clara e objetiva, sobre o alto conteúdo de nutrientes relacionados à saúde.

Um desenho de lupa, na face frontal da embalagem na parte superior, área facilmente capturada pelo olhar do consumidor, identifica o alto teor de três nutrientes, quando existentes: açúcares adicionados, gorduras saturadas e sódio. Essa lupa é obrigatória quando os nutrientes apresentarem as quantidades indicadas no **Quadro 3**.

Quadro 3 - Informação Nutricional

Alto conteúdo	Alimentos sólidos e semissólidos	Alimentos líquidos
Açúcar adicionado	adicionado 15 g ou mais por 100 g	Alimento 7,5 g ou mais por 100 ml de alimento
Gordura saturada	6 g ou mais por 100 g de alimento	3 g ou mais por 100 mL de alimento
Sódio	600 mg ou mais por 100 g de alimento	300 mg ou mais por 100 mL de alimento

Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2022)

Produtos que foram lançados a partir de 9 de outubro de 2022 devem estar com os rótulos adequados às novas regras. Para produtos que já se encontram na praça até essa data, há regras para adequação dos prazos.

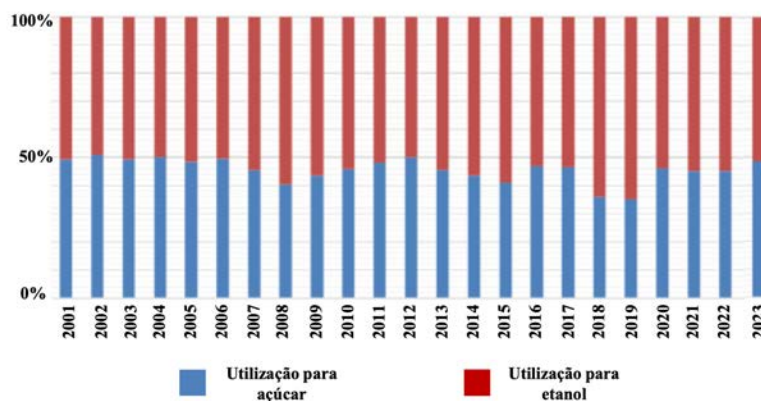
As mudanças efetuadas ainda estão na forma de notificação no site da Anvisa, mas, provavelmente, em breve uma RDC será publicada (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2022).

Dentre os documentos emitidos por órgãos brasileiros, merece citação o Guia Alimentar para a População Brasileira elaborado pelo Ministério da Saúde (2014), que na sua segunda edição, no capítulo Óleos, Gorduras, Sal e Açúcar traz o item “Por que óleos, gorduras, sal e açúcar devem ser utilizados em pequenas quantidades em preparações culinárias?” onde são mencionados os efeitos negativos desses nutrientes. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

4 O mercado do nutriente açúcar no Brasil

A produção da *commodity* açúcar no Brasil apresenta uma situação peculiar, pois as usinas são de açúcar - etanol e têm habilidade de enfatizar a produção de açúcar em detrimento da produção de etanol, ou vice-versa, de acordo como o que será mais remunerador. A **FIGURA 2** mostra a composição histórica de produção açúcar-etanol, onde pode ser observada a produção maior de açúcar em 2020/21, 2021/22 e 2022/23 em relação às safras de 2018 e 2019, quando a maior demanda por etanol combinada com preços de açúcar menos atrativos favoreceu uma maior produção de etanol (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2022; VIDAL, 2023).

Figura 2 - Produção de açúcar-etanol



Fonte: Adaptado de United States Department of Agriculture (2023)

No Brasil, os estados do Centro-Sul (SP, PR, MG, MS, MT e GO) representam mais de 90 % do total da produção de cana-de-açúcar, e os estados do Norte-Nordeste (AL, PE, PB, RN e BA) menos de 10 % da produção total. Para 2024 está prevista uma área total plantada de 98 milhões de hectares, valor que representa um aumento de mais de 1,5 % em relação à safra anterior, devido a preços favoráveis do açúcar em relação aos grãos, como soja e milho (*UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2023*).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar com aproximadamente 22 % da produção total, bem como o maior exportador, com 47 % do total de exportação mundial, seguido pela Índia, Tailândia, Guatemala e México. Está previsto para o biênio 2023/24 um aumento de cerca de 10 % de sua produção em comparação com 2022/23. Os principais destinos da exportação de açúcar do Brasil são: China, Argélia, Nigéria, Bangladesh, Marrocos e Canadá. (*UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2023*).

O *United States Department of Agriculture (2023)* em seu relatório menciona que não há fonte oficial para o consumo interno de açúcar no Brasil, mas estimou que 45 % do consumo do total destinado ao mercado doméstico é para uso direto, ou seja, consumidores comprando açúcar no supermercado, enquanto 55 % é para uso indireto, por exemplo, uso industrial. Neste trabalho optou-se por usar dados do relatório do USDA, por ser o mais recente disponível e por ele consolidar informações conseguidas junto a diversos órgãos brasileiros, tais como do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e do IBGE.

Ao analisar a produção de açúcar não se pode esquecer que se trata de uma *commodity* relacionada ao agronegócio, logo sujeita a todas as variáveis dessa categoria, que vão desde as climáticas até as de mercado, por exemplo, o aumento da produção de açúcar pode ser atribuída em parte ao preço favorável e à demanda externa (*UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2023*). Certas tendências também devem ser consideradas, como o do emprego de tecnologia e melhorias de manejo que vem ocorrendo nos últimos anos e que tem remetido a uma redução de área plantada com uma intensificação da produtividade. (VIDAL, 2022)

Outro fator a ser destacado é o aumento do preço do petróleo, que contribuiu fortemente para o redirecionamento da indústria sucroenergética brasileira para a maior produção de açúcar, uma vez que o etanol é substituto da gasolina e para ser competitivo seu preço deve ser reduzido em meio à demanda retraída. No início de 2020 houve redução da demanda por etanol no Brasil, que foi agravada pelo isolamento social que restringiu ainda mais a demanda por combustível renovável.

5 Considerações

Há uma preocupação global crescente, quanto às consequências de consumo excessivo do nutriente açúcar. Nesse contexto, os consumidores tendem a mudar suas dietas e hábitos e os órgãos governamentais enfrentam demandas para elaborar regulamentações técnicas e praticar uma melhor rotulagem dos alimentos, uma melhor educação alimentar e um melhor controle da publicidade de alimentos. Os fabricantes de alimentos, os varejistas e os serviços de alimentação, também são pressionados a reduzir os nutrientes que em excesso causam efeitos indesejáveis à saúde.

O Chile criou em 2016 uma legislação em relação a alguns nutrientes cuja ingestão em excesso prejudica a saúde. A lei chilena prevê a implantação do modelo regulatório em três etapas: a primeira focada nas diretrizes para rotulagem e publicidade; a segunda prevê a restrição de publicidade voltada ao público infantil sobre determinados produtos; a terceira inclui a restrição de comercialização de alimentos com altos teores de nutrientes preocupantes em escolas (TAILLIE *et al.*, 2021).

Além do uso de restrições, impostos e subsídios são práticas que podem ocorrer, mas tendem a ser questionáveis por manipularem preços em prol de uma alimentação saudável. Por outro lado, as orientações dietéticas são, em geral, expressas em termos relativos e as informações usualmente disponíveis referem-se à população média. A criação de base de dados e regulamentações a partir dessas orientações requerem ressalvas e conhecimento sólido do tema e do local de aplicação.

Antes de imaginar que resoluções, portarias e leis possam mudar hábitos de consumo, deve-se ter em mente que esses hábitos procedem de fatores que se apresentam de forma intrincada e complexa e, além do mais, levam a padrões de consumo que podem ser diferentes, dependendo do mercado considerado. Ilustra bem esse fato o estudo de Chikwest e Flechter (2010), que apresenta os fatores que influenciavam os consumidores em um mercado de subsistência em uma região do Zimbábue ao fazer compras de alimentos (**Quadro 4**).

Quadro 4 – Principais condutores de compra e seus componentes em uma região de subsistência em Zimbábue

Principais condutores de compra	Componentes	% de classificação geral (preferência)
Necessidades fisiológicas	Fome	93
	Higiene pessoal	
	Desempenho aceitável	
Incerteza de disponibilidade de produto	Escassez de produto	93
	Mercado clandestino	
	Especulação	
	Nenhuma ação	
Preço	Disponibilidade de renda	93
	Distorções do mercado	
	Preços em moeda forte	
Colega e rede social	Fonte de informação	81
	Fonte de acesso ao produto	
Família	Papel da família	78
Novos produtos	Alternativa mais barata	64
	Desempenho do produto	
Atividades de promoção das empresas	Marketing direto	58
	Marca	
	Promoções em lojas	
	Promoção geral acima do usual	
Ameaças do ambiente	Econômica	54
	Política	
	Nível de instrução	
	Direitos do consumidor	
Conveniência	Localização e disponibilidade	58
	Tamanho do produto	
	Uso para diversos propósitos	

Fonte: Chikwest e Flechter (2010) - tradução própria

Embora o estudo de Chikwest e Flechter (2010) seja antigo, permite imaginar que em um país desenvolvido as porcentagens seriam bem diferentes, considerando a mesma época do estudo. Por outro lado, vários dos desafios enfrentados por eles na execução do estudo, além de serem gerais e não locais, provavelmente, ainda permaneceriam na atualidade. O estudo realizado por Chikwest e Flechter (2010) é importante não pelo que apresenta em si, mas pela mensagem que sua leitura evidencia, ou seja, a aquisição de alimentos tem condutores complexos e dependentes de locais e situações. Isto é um aspecto importante a ser considerado em regulamentações relacionadas à nutrientes.

Vale ressaltar que, o ritmo de mudança de hábitos de consumo, por vontade própria, não é acelerado, mas ele pode mudar com a ocorrência de eventos externos, tais como guerras, pandemias e acidentes naturais, ou pela imposição de regras por meio de regulamentos, resoluções, portarias entre outras, emitidas por órgãos governamentais.

A literatura levantada permitiu verificar que há uma grande preocupação em relação à diminuição do consumo do nutriente açúcar. No entanto faltam estudos sistemáticos para trazer conhecimento, bem como informações mais precisas para embasar com critério a elaboração de regulamentações. De fato, estudos sistemáticos são de difícil aplicação, exatamente pela dificuldade em se desenhar experimentos sobre hábitos de consumo tendo como condicionantes fatores de contorno que provavelmente são muitos, aumentando com a área de abrangência e quantidade de subpopulações. Outra dificuldade para a execução de um estudo sistemático seria encontrada ao medir a dinâmica da mudança de hábito ao longo do tempo devido a eventos externos, envolvendo vários atores e tempos maiores de aplicação, o que é difícil nos dias atuais, onde a tendência é ter resultados mais imediatos. Abordagens inovadoras de *Data Science* com rigor dos modelos de Delineamento de Experimentos em *Big Data* podem ser desenvolvidas para ajudar nesta questão.

Quanto às regulamentações técnicas, apenas nos últimos anos verificaram-se aquelas voltadas às questões de consumo do açúcar, como foi a legislação do Chile. No Brasil a rotulagem frontal indicando, quando pertinente, que o produto tem excesso de açúcar, foi um avanço. Entretanto, pode-se ainda ousar muito em relação aos nutrientes que em excesso são prejudiciais à saúde. Em relação ao açúcar, várias possibilidades podem ser consideradas, como por exemplo, regulamentos que promovam a mudança de hábito por meio da educação, parcerias com fabricantes de produtos que levam adição de açúcar para discutir sobre a diminuição de adição desse nutriente ao longo do tempo, são alguns exemplos.

No Brasil, o mercado de açúcar é peculiar, devido ao binômio álcool-açúcar e suas inúmeras variáveis. Deste modo, qualquer equação simples envolvendo somente o consumo de açúcar e sua produção não levaria a valores confiáveis, pois estaria significativamente influenciados pelas outras variáveis relacionadas a produção do binômio álcool-açúcar.

6 Conclusão

A elaboração de Regulamentações Técnicas é um processo complexo que envolve o entendimento de diversos aspectos. Além disso, regulamentações técnicas devem apresentar escrita clara e objetiva, a fim de facilitar seu entendimento e aplicação, sendo isso possível apenas quando se tem domínio dos fatores principais relacionados ao tema enfocado e envolvimento de todos os atores.

Atualmente há uma preocupação global em relação ao consumo excessivo de nutrientes prejudiciais à saúde, dentre os quais se encontra o açúcar. Consumidores tendem a mudar suas dietas e hábitos em prol da diminuição do consumo de açúcar, mas isto é um processo lento. Órgãos governamentais enfrentam demandas para elaborar regulamentações técnicas e fabricantes de alimentos também são pressionados a reduzir esse nutriente.

Em relação ao nutriente açúcar há demandas por regulamentos técnicos a serem atendidas, mas estudos sistemáticos que permitam aprofundar o conhecimento e criar referências criteriosas são necessários.

A não mudança de hábito em relação ao consumo de alimentos adoçados com açúcar geralmente remete a uma mera substituição deste nutriente por outras substâncias, as quais também requerem atenção e regulamentações técnicas, pois muitos já apresentam limites de ingestão diária.

7 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Novas regras para rotulagem nutricional entram em vigor em 30 dias:** (Instrução normativa nº 75, de 08 out. 2020.). Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2022/novas-regras-para-rotulagem-nutricional-entram-em-vigor-em-30-dias#:~:text=As%20mudan%C3%A7as%20na%20rotulagem%20foram,fazer%20escolhas%20alimentares%20mais%20conscientes>. Acesso em: 14 jul. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Anvisa Instrução normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, edição 195, Seção 1, p. 113, 08 out. 2020a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143>. Acesso em: 13.jul.2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Anvisa RDC nº429, de 2 outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, edição 195, Seção 1, p. 106, 08 out. 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-429-de-8-de-outubro-de-2020-282070599>. Acesso em: 14.jul.2023.

BRASIL. Decreto nº 10.411, de 30 de junho de 2020. Regulamenta a análise de impacto regulatório, de que tratam o art. 5º da Lei nº 13.874, de 20 de setembro de 2019, e o art. 6º da Lei nº 13.848, de 25 de junho de 2019. **Diário Oficial da União**, Brasília, 01 jul. 2020c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.411-de-30-de-junho-de-2020-264424798>. Acesso em: 10.jul.2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº47, de 30 de agosto de 2018. **Diário Oficial da União**, Brasília, edição: 173, Seção: 1, p. 12-15, 06 set. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/39939558/do1-2018-09-06-instrucao-normativa-n-47-de-30-de-agosto-de-2018-39939440. Acesso em: 13.jul.2023.

CHICKWEST, T.; FLETCHER, R. Understanding factors that influence purchases in subsistence markets. **Journal of Business Research**, v. 63, n. 6, p. 643-650, June 2010.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en>. Acesso em: 15.jul.2023.

FIDLER, M. *et al.* **Sugar in Infants, Children and Adolescents**: A Position Paper of the European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition Committee on Nutrition. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, v. 65, n. 6, p. 681-696, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <https://www.fao.org/home/en>. Acesso em: 12.jul.2023.

HAQUE, M. *et al.* A narrative review of the effects of sugar-sweetened beverages on human health: a key global health issue. **Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology**, v. 27, n. 1, p. 76-103, Mar. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 156 p. ISBN 978-85-334-2176-9. Disponível em: https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf. Acesso em: 13.jul.2023.

MISRA, V. *et al.* Effect of sugar intake towards human health. **Saudi Journal of Medicine**, Dubai, Emirados Árabes, v. 1, n. 2, p. 29-36, July/Sept. 2016. DOI: 10.21276/sjm.2016.1.2.2

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em <https://www.fao.org/brasil/pt/>. Acesso em: 14 jul. 2023.

RICCO, K. S. **Influência do Consumo de açúcar na prevalência da obesidade e de doenças relacionadas**. 2016. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Graduação em Farmácia Bioquímica, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Departamento de Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/145445/000867999.pdf>. Acesso em: 15.jul.2023.

SCHMIDHUBER, J.; TRAILL, W. B. The changing structure of diets in the European Union in relation to healthy eating guidelines. **Public Health Nutrition**, v. 9, n. 5, p. 584–595, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/BE4C6D4DCCB19A77F1E8EAA652379AE6/S1368980006000991a.pdf/div-class-title-the-changing-structure-of-diets-in-the-european-union-in-relation-to-healthy-eating-guidelines-div.pdf>. Acesso em: 13.jul.2023.

TAILLIE, L. S. **et al.** Changes in food Purchase after the Chilean policies on food labelling, marketing, and sales in schools: a before and after study. **The Lancet Planet Health**, v. 5, n. 8, p. 526-533, Aug. 2021

THE UNITED KINGDON SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE ON NUTRITION. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <https://www.gov.uk/government/groups/scientific-advisory-committee-on-nutrition#:~:text=SACN%20advises%20on%20nutrition%20and,and%20other%20UK%20government%20organisations>. Acesso em: 15.jul.2023.

TIRONI, L. F. **Regulamentação técnica, acordos comerciais e multilateralismo.** Brasília: IPEA, 2022. 36 p. (Texto para Discussão2650). Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10568/1/td_2650.pdf. Acesso em: 10.jul. 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Sugar Annual/Brazil.** Washington, D.C.: USDA, Apr. 21, 2023. (Report Number: BR2023-0009). Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Sugar%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_BR2023-0009.pdf.pdf, Acesso em: 14 out. 2022.

VIDAL, M. F. Açúcar: cenário mundial e situação da produção brasileira e nordestina. **Caderno Setorial ETENE**, v. 7, n. 215, p. 1-11, mar. 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1148/1/2022_CDS_215.pdf. Acesso em: 17. Jul. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <https://www.who.int/>. Acesso em: 12.jul. 2023.

8 Agradecimentos

À Edna Baptista dos S. Gubitoso, pesquisadora da Coordenadoria de Inteligência de Mercado e Estratégias do IPT, pela revisão bibliográfica.

10.29327/2202814.7.24-5



Para obter mais informações
sobre os mestrados profissionais

Entre em contato com Adilson ou Mary pelo e-mail
mestrado@ipt.br
ou ligue para (11) 3767.4673

Sobre os cursos de especialização,
curta duração e educação corporativa


Entre em contato com Andrea pelo e-mail
cursos@ipt.br
ou ligue para (11) 3767-4226

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - São Paulo - SP
CEP 05508-901 - Brasil

Central de Relacionamento com o Cliente
(11) 3767-4102 / 4456 / 4091

Ensino Tecnológico
(11) 3767-4673 | mestrado@ipt.br

 <https://www.instagram.com/iptensinotecnologico/>

 <https://bit.ly/FacebookEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://bit.ly/LinkedinEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://www.youtube.com/@cursosipt>



sapiens.ipt.br

revista IPT

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Confira em nosso site todas as edições da revista

<https://bit.ly/revistaIPT>



ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS
ENSINO TECNOLÓGICO

