



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES	
<i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905041	
CAPÍTULO 2	18
DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL	
<i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905042	
CAPÍTULO 3	29
DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO	
<i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905043	
CAPÍTULO 4	38
MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D	
<i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905044	
CAPÍTULO 5	53
ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA	
<i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905045	
CAPÍTULO 6	67
DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS	
<i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i>	

CAPÍTULO 7 80

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

Bruno Barbieri
Vinicius Segalla
Marcio Catapan
Maria Lúcia Okimoto
Isabella Sierra

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

CAPÍTULO 8 91

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

Silas Fernandes Caze
Lucas de Sousa Camelo
Wictor Gomes de Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

CAPÍTULO 9 96

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

Marcos José Mannala
Marlon Elias Marchi
Marcio Tonetti

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

CAPÍTULO 10 103

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

Carlos Henrique da Silva
Felipe Martins Silva
Fernando Luiz Alhem dos Santos
Jardson da Silva David
Juliana Lopes Cardoso
Milton Zanotti Junior

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

CAPÍTULO 11 114

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

Walter dos Santos Sousa
Caroline Moura da Silva
Érika Cristina de Melo Lopes
Gilton Carlos de Andrade Furtado
Lana Ritiele Lopes da Silva
Michele da Costa Baía

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

CAPÍTULO 12	127
CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23	
<i>Luís Henrique da Silva Ignacio</i>	
<i>Fernando Costa Malheiros</i>	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i>	
<i>Henrique Coelho Fernandes</i>	
<i>Gilmar Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050412	
CAPÍTULO 13	135
TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA	
<i>Murilo Antunes Alves Lucindo</i>	
<i>Breno Dantas Santos</i>	
<i>Juliana Sanches da Silva</i>	
<i>Marcos Bruno Santana</i>	
<i>Deovaldo de Moraes Júnior</i>	
<i>Vitor da Silva Rosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050413	
CAPÍTULO 14	147
A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS	
<i>Daniel Alves Ferreira Lemes</i>	
<i>Kennedy Carlos Tolentino Trindade</i>	
<i>Anna Paula Bechepeche</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050414	
CAPÍTULO 15	169
VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO	
<i>Luriane Pamplona dos Santos Barbosa</i>	
<i>Rodrigo de Cássio Vieira da Silva</i>	
<i>Thiago Eymar da Silva Oliveira</i>	
<i>Arielly Assunção Pereira</i>	
<i>Roger Barros da Cruz</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050415	
CAPÍTULO 16	185
MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS	
<i>Isabella Fenner Rondon</i>	
<i>Josivaldo Godoy da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050416	
CAPÍTULO 17	196
ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Vicente Severino Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050417	

CAPÍTULO 18	209
APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Edmar Antônio Onofre</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050418	
CAPÍTULO 19	221
ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE	
<i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i>	
<i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i>	
<i>Luís Felipe Furtado Pontes</i>	
<i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i>	
<i>Lucas Silva Soares</i>	
<i>Marcos Erike Silva Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050419	
CAPÍTULO 20	236
ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL	
<i>Estevão Fuzaro de Almeida</i>	
<i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i>	
<i>Fábio Roberto Chavarette</i>	
<i>Roberto Outa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050420	
CAPÍTULO 21	245
DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR	
<i>Wictor Gomes De Oliveira</i>	
<i>João Paulo Correia Teixeira</i>	
<i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i>	
<i>Tulio Rosine Martins De Souza</i>	
<i>Bruno De Oliveira Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050421	
SOBRE OS ORGANIZADORES	247

TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA

Murilo Antunes Alves Lucindo

Universidade Santa Cecília
Santos – SP

Breno Dantas Santos

Universidade Santa Cecília
Santos – SP

Juliana Sanches da Silva

Universidade Santa Cecília
Santos – SP

Marcos Bruno Santana

Universidade Santa Cecília
Santos – SP

Deovaldo de Moraes Júnior

Departamento de Engenharia Química,
Universidade Santa Cecília
Santos – SP

Vitor da Silva Rosa

Departamento de Engenharia Química,
Universidade Santa Cecília
Santos - SP

RESUMO: A potência consumida e o tempo de mistura são os principais parâmetros de projeto em tanques com impulsores mecânicos, os quais podem ser usados como reatores químicos. A literatura não possui muitas informações sobre o tempo de mistura com chicanas padrões e, praticamente, sem informações em condições não padronizadas. O estudo teve por objetivo avaliar experimentalmente o tempo de mistura

na agitação de água em tanque com impulsores mecânicos equipado com uma chicana padrão e uma chicana modificada. A unidade experimental possuía um tanque com volume 10 litros, 1 motor elétrico com potência de 1 HP, impulsor axial com 4 pás inclinadas a 45°, impulsor radial tipo turbina Rushton, 1 chicana padrão Rushton e 1 chicana modificada com orifícios. O tempo de mistura foi determinado experimentalmente, em função do tipo de impulsor e do tipo de chicana, através do equilíbrio térmico após adição de água quente. Com os resultados obtidos geraram-se funções de potência para predição do tempo de mistura com Reynolds entre 10000 e 100000. Concluiu-se que a melhor condição para um tanque industrial com condições similares a do estudo ocorre com o uso da chicana modificada e do impulsor radial, fornecendo os menores tempos de mistura.

PALAVRAS-CHAVE: Tanque com agitação; Tempo de mistura; Chicana modificada;

ABSTRACT: The power consumption and the mixing time are the main design parameters in tanks with mechanical impellers, which can be used as chemical reactors. The literature does not have much information on the time of mixing with standard baffles and, practically, without information in nonstandard conditions. The aim of the study was to evaluate the mixing time in

the tank water shaking with mechanical impellers equipped with a standard baffle and a modified baffle. The experimental unit had a tank with a 10-liter volume, an electric motor with a power of 1 HP, axial impeller with 4 inclined blades at 45 °, Rushton turbine type radial impeller, a Rushton standard baffle and a modified chicanery with holes. The mixing time was determined experimentally, according to the type of impeller and the type of baffle, through the thermal equilibrium after addition of hot water. With the results obtained power functions were generated to predict the time of mixing with Reynolds between 10000 and 100000. It was concluded that the best condition for an industrial tank with similar conditions to the study occurs with the use of modified baffle and impeller radial, providing the shortest mixing times.

KEYWORDS: Agitation tanks; Mixing time; Modified Baffle;

INTRODUÇÃO

Os tanques com impulsores mecânicos são equipamentos largamente utilizados nas indústrias químicas, petroquímicas, farmacêuticas e alimentícias como reatores químicos, flotadores, extratores, trocadores de calor, diluidores, concentradores e decantadores (Rosa, et. al. 2017).

Em tanques com agitação e mistura, o projeto dessas unidades depende do tipo de aplicação ao quais os tanques serão submetidos como as supracitadas, no entanto, há dois parâmetros comuns em praticamente todas as aplicações: a) consumo de potência pelo impulsor mecânico e b) Tempo de mistura.

A determinação do consumo de potência é imprescindível para o dimensionamento do motor elétrico que seja capaz de realizar a mistura nas condições exigidas no projeto. O tempo de mistura é um parâmetro que quantifica a qualidade da mistura de tal modo que quanto menor for esse tempo, mais rápido será a homogeneização das fases presentes durante a agitação (Paul e Antiemo-Ubeng, 2004).

O projeto de um tanque com agitação e mistura deve conciliar o melhor tempo de mistura com o menor consumo possível de potência pelo impulsor mecânico. Todavia, determinar de forma satisfatória o tempo de mistura depende de equações que não podem ser obtidas de forma analítica devido a complexa geometria do tanque, das propriedades físicas do fluido, do tipo de impulsor mecânico e da reologia do fluido em agitação (newtoniano e não-newtoniano).

Prochazka e Landau (1961) propuseram uma expressão para o tempo de mistura em tanques equipados com impulsor radial tipo turbina com 6 pás planas, como apresentado na Eq. 1.

$$NT_M = 0,905(D_a/D_t)^{2,57} \cdot \log(X_0/X_c) \quad (1)$$

Sendo N a rotação do impulsor mecânico, D_a o diâmetro do impulsor, D_t o diâmetro interno do tanque, X_0 um valor inicial para o grau de não homogeneização (o qual varia entre 1 e 3, sendo recomendado o melhor valor como 2) e X_c uma média integral do valor final do grau de não homogeneização (sendo função da concentração

inicial e concentração final após a homogeneização), o qual é 0,05 para a maioria das configurações.

A Eq 2 apresenta a expressão para o impulsor axial com pás inclinadas.

$$NT_M = 2,02(D_a/D_t)^{2,20} \cdot \log(X_0/X_c) \quad (2)$$

Uhl e Gray (1966) apresentaram uma expressão (Eq. 3) mais prática para estimativa do tempo de mistura como função apenas do número de Reynolds para diversas configurações.

$$NT_M = KRe^a = K \frac{ND_a^2 \rho}{\mu} \quad (3)$$

Com K e a sendo parâmetros obtidos experimentalmente em função do tipo do tanque, do tipo de impulsor mecânico e da presença ou não de chicanas. A Figura 1 apresenta as curvas do número de potência para alguns impulsores mecânicos a partir da Eq. 3.

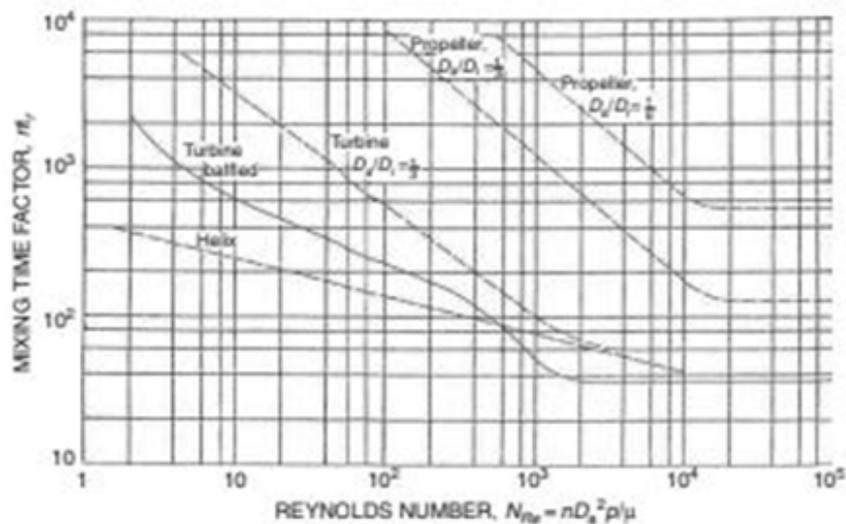


Figura 1 - Tempo de mistura em função do número de Reynolds (McCabe, Smith e Harriot, 2005)

Fasano et. al. (1974) determinaram uma expressão para o tempo de mistura em condições turbulentas (Reynolds acima de 10000) e em tanques com chicanas padronizadas por Rushton, Costich e Everett (1950), como apresentado na Equação 4.

$$T_M = \frac{4,065}{aN \left(\frac{Da}{Dt}\right)^b \left(\frac{Dt}{H}\right)^{0,5}} \quad (4)$$

As constantes a e b foram determinadas experimentalmente para diferentes tipos de impulsores. As constantes são válidas para as seguintes hipóteses: a) os fluidos que serão misturados devem ser newtonianos e com pouca variação entre a

sua viscosidade e a sua massa específica, b) O volume de fluido a ser inserido no tanque não deve ser mais que 5% do volume útil do tanque e c) O tanque deve estar agitado durante a inserção dos fluidos. Na Tabela 1 estão apresentados os valores das constantes a e b para o impulsor radial com 6 pás planas e impulsor axial com 4 pás inclinadas a 45°.

Tipo de impulsor	a	b
Radial com 6 pás planas	1,06	2,17
Axial com 4 pás inclinadas a 45°	1,01	2,30

Tabela 1 - Constantes a e b para a Eq. 4.

As chicanas são imprescindíveis durante a agitação, pois evitam a formação de vórtices, os quais aumentam de forma expressiva os valores do tempo de mistura, tornando a homogeneização das fases mais lenta (Tatterson, 2001).

Industrialmente, grande parte dos custos do projeto de uma unidade de agitação está na compra de materiais, os quais geralmente são vendidos por peso. Os tanques industriais possuem volumes entre 100 m³ até 2000 m³, de modo que seus acessórios vão seguir a mesma proporção. Há falta de estudos na literatura corrente sobre possíveis modificações na unidade de agitação, como nas chicanas e verificar o impacto em variáveis como o tempo de mistura e o consumo de potência.

Deste modo, este artigo teve por objetivo modificar uma chicana padrão inserindo orifícios ao longo do seu perfil axial e analisou o tempo de mistura em função do tipo de impulsor mecânico agitação de água. O trabalho também comparou o tempo de mistura obtido com a chicana modificada com os determinados experimentalmente com a chicana padrão.

METODOLOGIA

A unidade experimental, localizada no laboratório de operações unitárias da Universidade Santa Cecília, está apresentada na Figura 2.

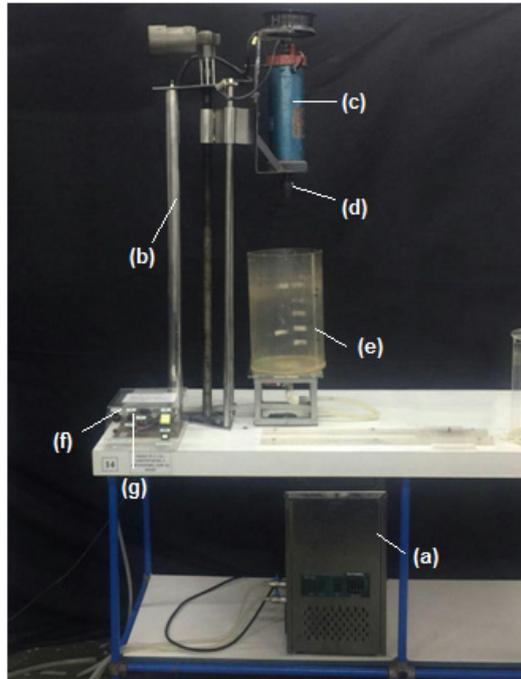


Figura 2 - Foto da unidade. (a) Banho Termostático; (b) Estrutura metálica para sustentação do equipamento; (c) Cooler para resfriamento do impulsor; (d) Suporte para encaixe de impulsor; (e) Tanque cilíndrico com volume de 10 litros; (f) Motor elétrico em balanço sobre rolamentos com potência de 1 hp; (g) Potenciômetro

A unidade experimental consistiu basicamente de um tanque em acrílico com volume útil de 10 litros, um motor elétrico com potência de 1 hp em balanço sobre rolamentos, um banho termostático e 1 serpentina espiral de cobre (colocada no fundo do tanque) para manter a temperatura do fluido constante durante os ensaios.

Os impulsores mecânicos utilizados no estudo foram um axial com 4 pás inclinadas a 45° (Figura 3a) e um impulsor radial tipo turbina com 6 pás planas (Figura 3b).



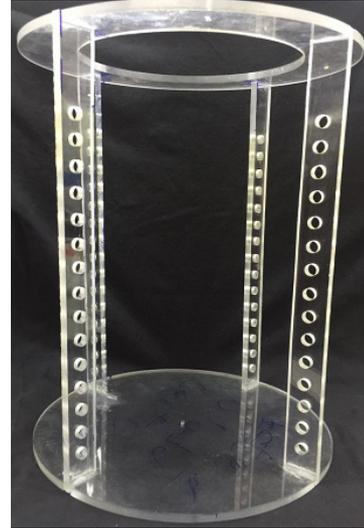
(a) (b)

Figura 3 - (a) Impulsor axial com 4 pás inclinadas; (b) Impulsor radial tipo turbina com 6 pás planas

Na Figura 4a está apresentada a chicana padrão utilizada e na Figura 4b a chicana modificada no presente estudo.



(a)



(b)

Figura 4 - (a) Chicana padrão; (b) Chicana modificada

Na literatura corrente não há equações para definir o diâmetro dos orifícios e a quantidade dos mesmos na chicana modificada. Desse modo, foi proposta três equações a partir da padronização de Rushton, Costich e Everett (1950): (a) diâmetro dos orifícios (Eq. 5), (b) número de orifícios (Eq. 6) e (c) distância entre os centros de simetria dos orifícios (Eq. 7).

$$\phi = \frac{1}{3}J \quad (5)$$

$$N_o = \frac{H}{2\phi} \quad (6)$$

$$D_o = \frac{2}{3}J \quad (7)$$

Sendo ϕ o diâmetro dos orifícios, N_o o número de orifícios, D_o a distância entre os centros de simetria dos orifícios, J a largura das chicanas e H a altura do nível de líquido. No presente estudo, foram utilizadas 4 chicanas colocadas de forma diametralmente opostas entre si contendo 15 orifícios por chicana, com cada orifício tendo 8 mm e distância entre centros de 16 mm. O fluido utilizado nos experimentos foi água destilada, sendo que na Tabela 1 estão apresentadas as suas propriedades físicas.

Propriedade física	Polinômio	Range para T (°C)
μ (Pa.s)	$\mu(T_m) = 1,5 \cdot 10^{-3} e^{-0,02T_m}$	10 - 90
c_p (J/kg°C)	$c_p(T_m) = 1 \cdot 10^{-5} T_m^2 - 7 \cdot 10^{-4} T_m + 4190$	10 - 90
ρ (kg/m ³)	$\rho(T_m) = -3,2 \cdot 10^{-3} T_m^2 - 1,8 \cdot 10^{-1} T_m + 1000,2$	10 - 90

Tabela 1. Propriedades físicas da água (Rosa, et. al., 2017)

Na Tabela 2 estão apresentadas os valores das principais dimensões do tanque: diâmetro do tanque (D_t), diâmetro do impulsor (D_a), largura da chicana (J), altura do nível de líquido (H), largura da pá do impulsor (W) e distância do impulsor ao fundo do tanque (E).

Parâmetros	Dimensão (mm)	Relações dimensionais
D_t	233,7	$D_t/D_t = 1,0$
H	233,7	$D_t/H = 1,0$
D_a	77,9	$D_a = D_t/3$
J	23,37	$J = D_t/10$
W	15,58	$W = D_a/5$
E	77,9	$E = D_a$

Tabela 2. Valores das dimensões geométricas do tanque

Procedimento experimental

Inicialmente foi colocada água no interior do tanque e com o auxílio da serpentina em espiral e do banho termostático a temperatura da água foi mantida constante em 20°C em todos os ensaios.

Foram realizados 10 experimentos por impulsor mecânico variando-se a rotação do impulsor entre 150 rpm a 1050 rpm, totalizando 20 experimentos com a chicana padrão. Analogamente, repetiram-se os mesmos experimentos com a chicana modificada. Visando minimizar os erros experimentais, todos os ensaios foram realizados em triplicata, com um total de 120 experimentos.

Em cada ensaio, o tempo de mistura foi medido de forma experimental do seguinte modo: com o tanque preenchido de água a 20°C, de forma simultânea, em um recipiente externo colocou-se 500 ml de água, a qual foi aquecida até 98°C. Nesse momento, com a rotação ajustada por um tacômetro, despejou-se a água quente no tanque e com um termopar tipo J (colocado em uma posição oposta da alimentação da água quente) foi medido o tempo, com o auxílio de cronômetros, até a massa de fluido no tanque alcançar um novo degrau de estabilização térmica.

Quando a temperatura permaneceu com praticamente 99% sem variação, esse ponto era o tempo de mistura experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta alguns dos resultados obtidos nos ensaios para a determinação experimental do tempo de mistura com o impulsor axial, com a chicana padrão e chicana modificada. Analogamente, na Tabela 4, está parte dos os resultados dos ensaios com o impulsor radial.

Chicana padrão		Chicana modificada	
Reynolds	Tempo de mistura (s)	Reynolds	Tempo de mistura (s)
15674,25	34,09	13528,62	49,18
27010,18	12,59	22796,26	19,88
35556,86	12,945	31957,38	9,31
46851,99	9,55	43568,54	9,075
56907,23	14,665	54540,60292	5,04
64641,63	9,465	65292,9167	8,92
77172,89	10,82	75419,42748	5,195
86459,25	10,6	83871,23729	5,285
93857,77	7,6	96511,30126	6,41
111899,32	7	107376,812	5,81

Tabela 3 – Resultados da medição experimental do tempo de mistura – Impulsor axial

Chicana padrão		Chicana modificada	
Reynolds	Tempo de mistura (s)	Reynolds	Tempo de mistura (s)
12458,68393	23,745	12770,53497	18,63
20972,11796	13,64	22683,72204	12,24
32081,11113	11,2	33563,15801	5,23
43577,52039	9,015	43191,40283	5,17
53805,98483	10,6	54404,55549	3,67
63927,90277	7,425	63929,82478	5,97
75115,28575	9,8	75330,64353	5,43
83888,47183	8,7	87583,85994	3,27
97796,97259	6,825	96960,23424	3,67
111234,1388	6,635	110443,0548	4,91

Tabela 4 – Resultados da medição experimental do tempo de mistura – Impulsor radial

Os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 foram utilizados para a proposta de um modelo para a predição do tempo de mistura nas 4 situações estudadas. O modelo proposto está apresentado na Equação 8.

$$T_m = KRe^\alpha \quad (8)$$

A Equação 8 é uma função de potência que geralmente possui um bom ajuste de dados experimentais em processos envolvendo agitação e mistura (Rosa, 2017). Na Tabela 5 estão apresentados os valores da constante K e expoente α obtidos através da regressão múltipla linear para as 4 condições estudadas.

	Constante K	Expoente a	R ²
Chicana padrão - Impulsor Axial	9258,073	-0,61	0,73
Chicana modificada - Impulsor axial	343000	-0,97	0,82
Chicana padrão - Impulsor radial	2202,67	-0,50	0,86
Chicana modificada - Impulsor radial	9769,29	-0,69	0,74

Tabela 5 – Constante K e expoente a da Eq. 8.

Observou-se que os modelos possuem um ajuste satisfatório na predição dos dados experimentais com um coeficiente de determinação (r^2) variando entre 0,73 e 0,86 com Reynolds na faixa de 10000 a 1000000. Na Figura 5 foi realizada uma comparação do tempo de mistura em função do tipo de chicana com o impulsor axial e de forma análoga, na Figura 6, com o impulsor radial.

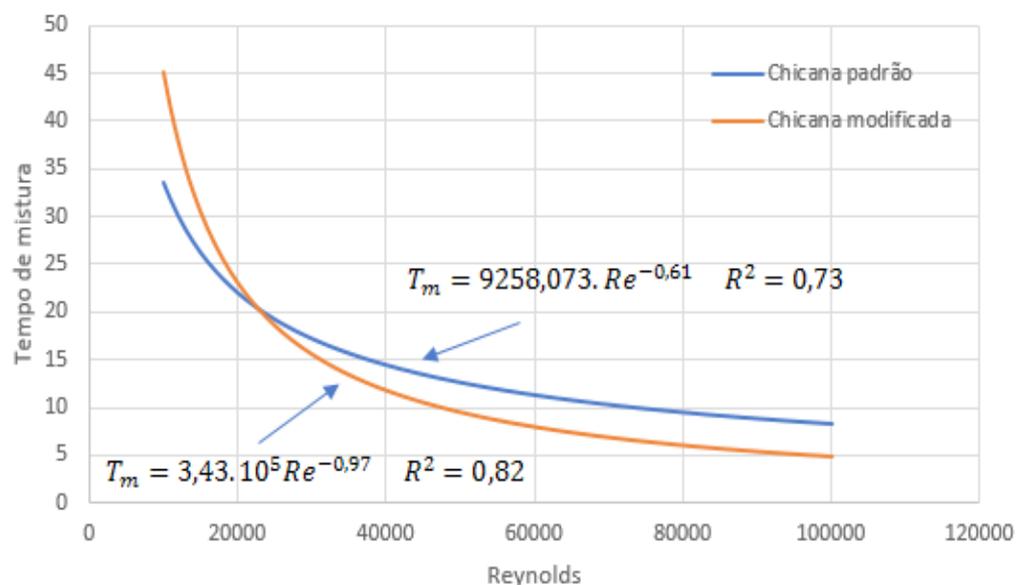


Figura 5. Comparação do tempo de mistura entre chicanas – Impulsor axial

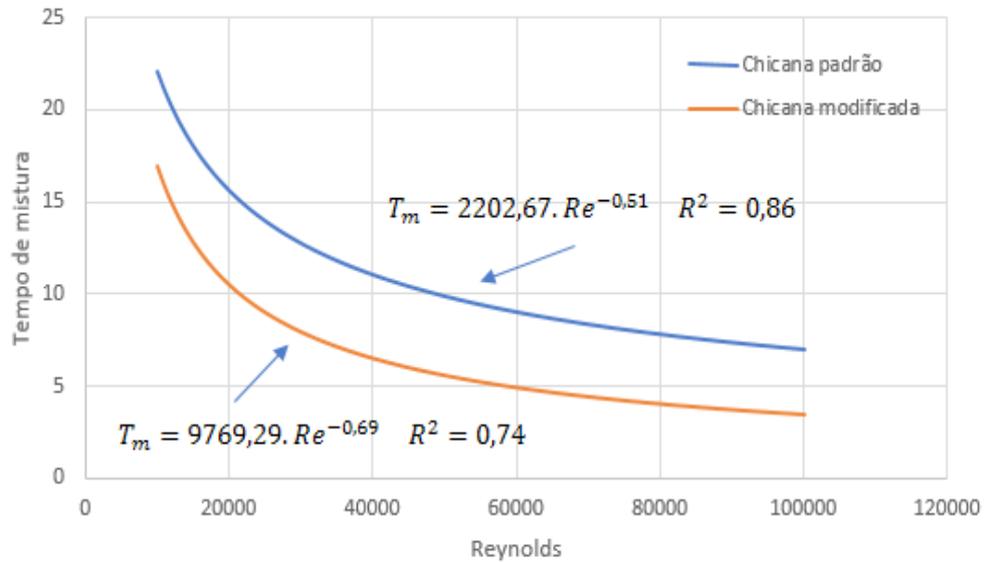


Figura 6. Comparação do tempo de mistura entre chicanas – Impulsor radial

Notou-se na Figura 5 que o tempo de mistura diminuiu em média 75% com o uso da chicana modificada. Em relação ao impulsor radial, conforme apresentado na Figura 6, a diminuição do tempo de mistura é de 100%. Provavelmente, devido a chicana modificada possuir orifícios, há a presença de mais zonas de recirculação, o que favorece a qualidade da mistura. Analisando apenas a variável tipo de chicana, o engenheiro deve escolher a chicana modificada em virtude do baixo tempo de mistura e também pela mesma possuir menor massa, diminuindo assim o custo do processo.

Na Figura 7 foi comparado o tempo de mistura entre os impulsores axial e radial com a chicana padrão e, na Figura 8, analogamente a comparação entre os impulsores com a chicana modificada.

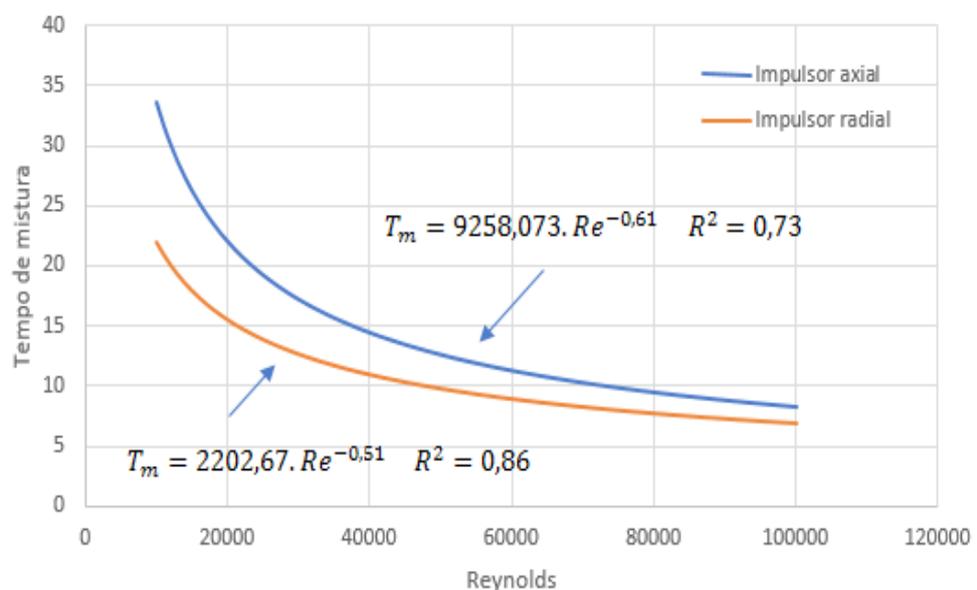


Figura 7. Comparação do tempo de mistura entre impulsores – Chicana padrão

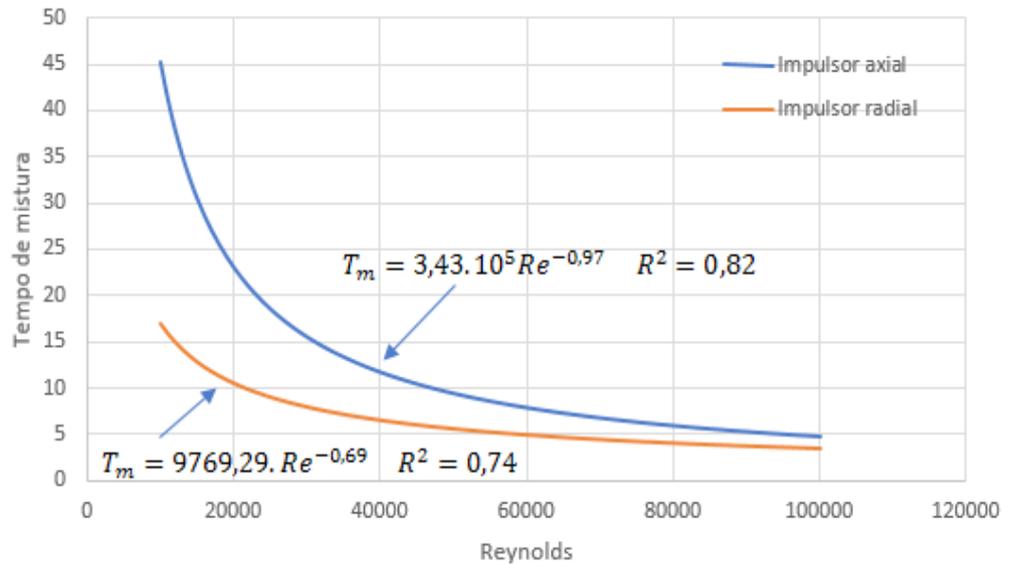


Figura 8. Comparação do tempo de mistura entre impulsores – Chicana modificada

Em relação aos impulsores, conforme observado nas Figuras 7 e 8, o impulsor radial fornece os menores tempo de mistura quando comparado com o impulsor axial, independentemente do tipo de chicana. Isso ocorre devido a intensa turbulência gerada pelo impulsor radial.

De forma prática, o engenheiro deve optar pelo projeto com a chicana modificada conforme discutido e utilizar o impulsor radial. No entanto, se o processo não demandar um tempo de mistura muito baixo, o engenheiro pode optar pelo impulsor axial, pois o mesmo consome menos potência do motor elétrico.

CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu concluir que:

- Observou-se que o modelo proposto por Fasano não possuiu um ajuste satisfatório aos dados observados, portanto, não sendo indicado para estimativa do tempo de mistura em tanques com as condições estudadas no presente estudo;
- O modelo proposto no presente estudo, baseado em uma função de potência, possuiu um ajuste aos dados experimentais de forma satisfatória com valor de R^2 entre 0,73 e 0,86 para os impulsores axiais e radiais e com as chicanas padrão e modificadas;
- As equações propostas são válidas para agitação e mistura com Reynolds entre 10000 e 100000 com água;
- Comparando o tempo de mistura entre as chicanas padrão e modificada, foi observado que o impulsor radial fornece tempos de mistura 100% menor que os fornecidos pelo impulsor axial;

e. Em relação ao tipo de impulsor mecânico, os menores tempos de mistura foram encontrados com a chicana modificada;

f. Portanto, o engenheiro ao projetar uma unidade de agitação similar as condições estudadas, deve escolher a chicana modificada em virtude dos baixos tempo de mistura e por possuir uma massa menor que a versão padrão, diminuindo os custos do processo. O impulsor a ser escolhido deve ser o radial. Caso o processo não demande um tempo de mistura muito baixo, ele pode optar pelo uso do impulsor axial, o qual consome menos energia durante a agitação.

REFERÊNCIAS

Fasano, J.B., A. Bakker, and W.R. Penny, “**Advanced Impeller Geometry Boosts Liquid Agitation**”, Chem Eng., Vol.10, No. 8, Aug 1974.

Ludwig, E.E. “**Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants.**” Vol.1, 4º Ed. Houston; Gulf Publishing Company, 1995.

McCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, P., “**Unit Operations of Chemical Engineering**”, 7º Ed, United States of America, McGraw-Hill, 2005.

MORAES JUNIOR, D., MORAES, M.S., “**Laboratório de Operações Unitárias I**”, 1º Ed., Brasil, Edição do Autor, 2011.

Paul, E. L., e Atiemo-Ubeng, S. M., “**Handbook of mixing**”, 1ª Ed., Wiley-Interscience, 2004;

Prochazka, J. and Landau, J. Collect Czech. Chem. Commun., 26, p. 2961, 1961;

Rosa, V.S., Taqueda, M. E. S., Paiva, J. L., Moraes, M. S., Moraes Júnior, D. “**Nusselt’s correlations in agitated tanks using the spiral coil with Rushton turbine and PBT 45° impeller. Comparison with tanks containing vertical tube baffles.**” Applied Thermal Engineering, 110, p. 1331-1342, 2017;

Rosa, V.S. “**Transferência de calor e scale-up de tanques com impulsores mecânicos em operação com fluidos não-newtonianos.**” Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2017.

Rushton, J.H., Costich, E.W., Everett, H.J., “**Power Characteristics of Mixing Impellers.**” *Chemical Engineering Process*, 46(8), 1950.

Tatterson, G.B., “**Fluid Mixing and Gas Dispersion in Agitated Tanks**”, McGraw-Hill Book Co, 1991.

Uhl, V. W. and J. B. Gray., “**Mixing Theory and Practice**”, 1, Academic press, New York, 1966;

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-246-3

