

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia química 2 /
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-536-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.362212610>

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

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Química 2” é constituído por dezoito capítulos de livros que foram organizados em quatro áreas temáticas: *i*) utilização de adsorventes para remoção de Contaminantes de Interesse Emergente (CIE) em diferentes matrizes aquosas; *ii*) produção de biodiesel e bio-óleo a partir de biomassa ou reutilização de óleo de fritura; *iii*) análise de recuperação avançada de petróleo por injeção de gás carbônico ou polímeros e práticas de gestão para exploração de petróleo e gás natural e *iv*) aplicações diversas.

O primeiro tema é composto por 50% dos capítulos de livros presente no e-book, apresentando trabalhos utilizando biomassas de origem vegetal para remoção da turbidez presente em efluentes oleosos e metais em águas residuárias e industriais; remoção de nitrogênio amoniacal e o fármaco ivermectina utilizando o carvão ativado, respectivamente, *in natura* e funcionalizado com grafeno; aplicação de surfactantes não-iônicos para reduzir a dissolução de carbonatos e a redução do consumo de água em processo de bradagem; a apresentação de um método analítico para quantificar a presença de Bisfenol A em águas superficiais, um estudo de revisão da literatura que mostra a qualidade dos recursos hídricos em vários países e a presença da diversidade e quantidade dos CIEs nas matrizes aquosas e a caracterização físico-química da farinha de Inhame obtida pelo processo de atomização. A segunda temática apresenta dois estudos que investigaram a produção de biodiesel e bio-óleo a partir, respectivamente, do aproveitamento do óleo de soja/fritura e da pirólise proveniente de biomassa.

Os capítulos de 12 a 14 apresentam trabalhos que buscaram avaliar a eficiência da injeção de gás carbônico ou solução de polímero para avaliar a recuperação avançada do petróleo. Além disso, apresenta um estudo de práticas de gestão operacional de exploração e produção de petróleo e gás natural exigido para atender normas da ABNT e certificações ISO e regulamentos técnicos estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Já os trabalhos presentes nos capítulos de 15 a 18 tratam de temas que variam da utilização da garrafa PET como dispositivo para determinar a densidade aparente de materiais em forma de pó; análise da geometria, diluição e qualidade de revestimentos de aço AISI 317L aplicado pelo processo de GTAW; estudo teórico visando aumentar a eficiência de uma coluna cromatográfica utilizando sílica na forma de nanopartículas e; apresenta uma aplicação na indústria de alimentos que utilizou a mistura de bebida fermentada de camomila com o cogumelo da espécie *Agaricus Brasiliensis*.

Diante desta variedade de estudos, provenientes de pesquisadores (as) de diferentes partes do Brasil, a Atena Editora selecionou e reuniu estes trabalhos neste e-book que depois de publicado, estará acessível de forma gratuita em seu *site* e em outras plataformas digitais, contribuindo para a divulgação do conhecimento científico gerado nas

instituições de ensino de todo o país. Assim, a Atena Editora vem trabalhando, buscando, estimulando e incentivando cada vez mais os pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros ou capítulos de livros.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA CASCA DE MARACUJÁ NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO

Cinthia Silva Almeida
Antonia Vitória Grangeiro Diógenes
Macilene Maria Monteiro Maia
Daianni Ariane da Costa Ferreira
Francisco Wilton Miranda da Silva
Zilvam Melo dos Santos
Manoel Reginaldo Fernandes
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126101>

CAPÍTULO 2..... 9

AMMONIA NITROGEN REMOVAL FROM FISH PROCESSING WASTEWATER BY ADSORPTION USING ACTIVATED CARBON

Davi Vieira Gomes
Maria Alice Prado Cechinel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126102>

CAPÍTULO 3..... 18

CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE IVERMECTINA EM CARVÃO ATIVADO FUNCIONALIZADO COM GRAFENO

Eduardo Possebon
Marcelo Fernandes Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126103>

CAPÍTULO 4..... 34

APLICAÇÃO DE SURFATANTES NÃO IÔNICOS NO CONTROLE DA TAXA DE DISSOLUÇÃO DE CARBONATOS NA ACIDIFICAÇÃO DE MATRIZ

Alcides de Oliveira Wanderley Neto
Guilherme Mentges Arruda
Dennys Correia da Silva
Luiz Felipe da Hora
Jefferson David Coutinho de Araújo
Marcos Allyson Felipe Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126104>

CAPÍTULO 5..... 45

UM ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E REDUÇÃO DA PEGADA DE CARBONO EM PROCESSO DE BRASAGEM

Caline Nunes de Carvalho
Tereza Neuma de Castro Dantas
Afonso Avelino Dantas Neto
Herbert Senzano Lopes

Andréa Oliveira Nunes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126105>

CAPÍTULO 6..... 57

PROPOSTA DE MÉTODO ANALÍTICO PARA QUANTIFICAÇÃO DE BISFENOL A EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

Cristiano Gonçalves Alano
Paula Roberta Perondi Furtado
Marcia Luciane Lange Silveira
Jamile Rosa Rampinelli
Elisabeth Wisbeck
Mariane Bonatti Chaves
Sandra Aparecida Furlan

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126106>

CAPÍTULO 7..... 74

CONTAMINANTES DE INTERESSE EMERGENTE PRESENTES EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS: O QUE VOCÊ NÃO VÊ, MAS AFETA E COMPROMETE A QUALIDADE DOS DIFERENTES ECOSSISTEMAS E A SAÚDE DE TODOS OS ORGANISMOS VIVOS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126107>

CAPÍTULO 8..... 87

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE FARINHA DE INHAME OBTIDA POR ATOMIZAÇÃO

Edison Paulo de Ros Triboli
Letícia Giuliani Yashiki

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126108>

CAPÍTULO 9..... 93

PRODUÇÃO DE BIODIESEL UTILIZANDO ÓLEO DE FRITURA E ÓLEO DE SOJA

Rafael Melo dos Santos Costa
Juan Medeiros Sousa
Dyenny Ellen Lima Lhamas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126109>

CAPÍTULO 10..... 101

PRODUÇÃO DO BIO-ÓLEO A PARTIR DA PIRÓLISE RÁPIDA DA BIOMASSA

Janaína Santos Matos
Leila Maria Aguilera Campos
Maria Luiza Andrade da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261010>

CAPÍTULO 11..... 114

UMA REVISÃO SOBRE A OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE EFLUENTES DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA GERADOS NO BRASIL

Renata Carvalho Costa

Márcio Daniel Nicodemos Ramos

André Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261011>

CAPÍTULO 12..... 126

ANÁLISE DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO ATRAVÉS DA INJEÇÃO MISCÍVEIS DE CO₂ POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO CASO UNISIM-II-H

Ana Paula Pereira Santos

Paulo Couto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261012>

CAPÍTULO 13..... 145

INJEÇÃO DE POLÍMEROS ACIMA DA PRESSÃO DE FRATURA DA FORMAÇÃO COMO MÉTODO DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO

Maria do Socorro Bezerra da Silva

Edney Rafael Viana Pinheiro Galvão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261013>

CAPÍTULO 14..... 157

PRÁTICAS DE GESTÃO OPERACIONAL NA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO (E&P) DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL NO BRASIL, PARA ATENDER REQUISITOS DE NORMAS ABNT NBR ISO DE SGI E DE REGULAMENTOS TÉCNICOS DA AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP)

Raymundo Jorge de Sousa Mançú

Luís Borges Gouveia

Silvério dos Santos Brunhoso Cordeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261014>

CAPÍTULO 15..... 196

MELHORIA DA DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE APARENTE DE PÓS COM AUXÍLIO DE DISPOSITIVO FEITO COM GARRAFA DE REFRIGERANTE

Edison Paulo de Ros Triboli

Marina Piasentini Oliva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261015>

CAPÍTULO 16..... 202

ANÁLISES DA GEOMETRIA, DILUIÇÃO E QUALIDADE DE REVESTIMENTOS DE AÇO AISI 317L APLICADOS PELO PROCESSO GTAW COM ADIÇÃO DE ARAME FRIO

Rafael Barbosa Carneiro dos Santos

João Pedro Inácio Varela

Mathews Lima dos Santos

Marcos Mesquita da Silva

Renato Alexandre Costa de Santana

Raimundo Nonato Calazans Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261016>

CAPÍTULO 17.....215

**ESTUDO TEÓRICO: AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE COLUNAS CROMATOGRÁFICAS
POR APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS**

Afonso Poli Neto

Herbert Duchatsch Johansen

Marcelo Telascrêa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261017>

CAPÍTULO 18.....229

BEBIDA FERMENTADA DE CAMOMILA COM COGUMELO *AGARICUS BRASILIENSIS*

Joseane Martins de Oliveira

Édipo Gulogurski Ribeiro

Meakaythacher Massayumi Takayanagui

Ana Carolina Dobrychtop

Camila Kaminski

Herta Stutz

Sueli Pércio Quináia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261018>

SOBRE O ORGANIZADOR.....238

ÍNDICE REMISSIVO.....239

ESTUDO TEÓRICO: AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE COLUNAS CROMATOGRÁFICAS POR APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS

Data de aceite: 27/09/2021

Data de submissão: 04/08/2021

Afonso Poli Neto

Centro Universitário Sagrado Coração –
Unisagrado
Torrinha – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7052574081196515>

Herbert Duchatsch Johansen

Centro Universitário Sagrado Coração –
Unisagrado
Bauru – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1881638655742736>

Marcelo Telascrêa

Centro Universitário Sagrado Coração –
Unisagrado
Botucatu – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6397540464687782>

RESUMO: Este trabalho procura reunir conhecimentos teóricos referentes a síntese de nanopartículas de sílica realizadas a partir do método de Stöber modificado, e as suas respectivas caracterizações de tamanho médio das mesmas; e os conhecimentos no campo da cromatografia, como o aumento teórico da eficiência, da resolução e da quantidade de Pratos Teóricos desses equipamentos a partir da aplicação destas nanopartículas de sílica na fase estacionária das colunas cromatográficas, focando principalmente no aumento do Número de Pratos Teóricos e seus efeitos para aprimoramento da resolução desses

equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Cromatografia; Nanopartículas; Coluna; Resolução.

THEORETICAL STUDY: INCREASING THE EFFICIENCY OF CHROMATOGRAPHIC COLUMNS BY APPLICATION OF NANOPARTICLES

ABSTRACT: This work seeks to gather theoretical knowledge regarding the synthesis of silica nanoparticles carried out using the modified Stöber method, and their respective mean size characterizations; and knowledge in the field of chromatography, such as the theoretical increase in efficiency, resolution and quantity of Theoretical Plates of these equipment's from the application of these silica nanoparticles in the stationary phase of chromatographic columns, focusing mainly on increasing the Number of Theoretical Plates and its effects to improve the resolution of these equipment's.

KEYWORDS: Chromatography; Nanoparticles; Column; Resolution.

INTRODUÇÃO

O estudo da cromatografia teve seu início por volta de 1906, pelo botânico russo Mikhail Semenovich Tswett que, ao fazer a passagem de extratos de folhas por um tubo de vidro recheado de carbonato de cálcio, fase estacionária, pela adição de éter de petróleo, fase móvel, apresentou a separação das substâncias desse extrato em diferentes cores.

Já nesse momento, foram estabelecidos

dois dos principais parâmetros que são levados em consideração em todas as análises feitas, que são as fases estacionária e a móvel. Pois, é por meio da interação, ou no caso, da não interação entre essas fases, que se dá a separação dos componentes das substâncias que está sendo analisada. Conforme elucidado por TONHI et al. (2002), estima-se que 90% dos laboratórios de análise ao redor do mundo utilizam um dos métodos que é a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). Isso demonstra, principalmente, que os métodos cromatográficos são de extrema importância para todas as indústrias no mundo hoje e, aprimorar esses métodos, é também de vital prioridade.

Dentro da fase estacionária, existem as partículas que irão realizar a interação com os diferentes componentes do objeto de estudo. Segundo TONHI et al. (2002) “Por mais de 30 anos a sílica tem sido o material preferido para a preparação das fases estacionárias para CLAE-FR, sendo que é mecanicamente estável à altas pressões, pode ser facilmente modificada, existe um vasto conhecimento de sua estrutura e suas propriedades e é comercialmente disponível em uma grande variedade de tamanho de partículas, formas e tamanhos de poros.”

As partículas de sílica podem não só interagir diretamente com o objeto de análise, mas também, servir de suporte para outros componentes que por sua vez, irão realizar as interações, como as mais polares, exemplo a C8, ou as menos polares, exemplo a C18. “A uniformidade da forma e o tamanho das partículas propiciaram colunas melhores recheadas que resultaram no aumento de eficiência e de resolução. Para a obtenção dessas partículas, diferentes rotas de síntese foram empregadas: dispersões da sílica coloidal e geleificação num sistema de duas fases; hidrólise e policondensação de polietoxissiloxano (PES) em esferas de sílica hidrogel por agitação, em um sistema de duas fases (processo sol-gel); aglutinação de soluções coloidais de sílica na presença de polímero seguido de calcinação das esferas; secagem por vaporização de suspensões coloidais de sílica e, formação e crescimento de nano partículas de sílica em suspensões. Nos dias atuais, a obtenção de partículas esféricas de sílica porosa se dá basicamente por variações no processo sol-gel.” MALDANER et Al. (2010).

Dentro da análise cromatográfica, existem diversos fatores que influenciam na qualidade de uma análise, seja ela o tamanho da coluna, a concentração da amostra, o tipo de fases móveis e estacionárias que estão sendo utilizadas, solventes, e, como foco deste trabalho, o tamanho das partículas que compõem a fase estacionária, como descrito por Snyder et al. em seu livro *Introduction to Modern Liquid Chromatography*.

A síntese do tipo sol-gel ou método de Stöber, pode ser modificado, segundo a concentração de seus reagentes, e os próprios reagentes para obter partículas de sílica com diferentes tamanhos. “No método sol-gel, os precursores para a síntese de um sol podem ser compostos inorgânicos, como sais, ou um composto metalorgânico, como alcóxidos⁹. No caso da sílica, silicato de sódio (sal de silício) ou tetraetilsilicato – TEOS (alcóxico) são comumente utilizados para a preparação de sílica.” BELINI et al. (2012).

Dentro do método sol-gel, é possível modificá-lo, seja por concentração de reagentes, pH, temperatura, para que se obtenha partículas na escala nanométrica, estas por sua vez, podem ser empregadas dentro de colunas de cromatografia líquida, com o intuito de aumentar a eficiência das separações desses equipamentos.

CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE SÍLICA

Dentro do campo das análises que podem ser realizadas para a identificação e caracterização de nanopartículas de sílica, destaca-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e a Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS). O primeiro método tem como objetivo garantir a forma que as nanopartículas possuem além de identificar o diâmetro desses corpos, em paralelo e complementando uma à outra, o DLS tem como principal objetivo identificar o tamanho das partículas. O trabalho realizado por BELINI (2012), traz várias análises referentes as partículas de sílica obtidas através do método sol-gel, para poder elucidar as características da síntese realizadas. “A técnica de espalhamento de luz dinâmico determina o raio hidrodinâmico das partículas suspensas em um meio líquido relacionando-o ao movimento Browniano das mesmas. Aplicando a equação de Einsten-Stokes, obtêm-se uma boa estimativa do raio/diâmetro das partículas através dessa técnica.” BELINI et al. (2012).

Em seu trabalho, BELINI et al. (2012) demonstra, após todo o processo de síntese e preparação das nanopartículas (Pág. 21, 22) os resultados dessas análises (Pág. 33, 34, 35, 36, 37, 38) trazendo à tona o diâmetro médio encontrado em dois grupos que foram estudados pelo autor. Dentro do primeiro grupo, podemos observar um diâmetro médio das partículas de sílica girando em torno de 16,6 nanômetros; no segundo grupo, podemos já observar um diâmetro das partículas girando em torno de 54,8 nanômetros; conforme demonstrado em BELINI, Tábita Cristina et al. Síntese e caracterização de nanopartículas de sílica contendo íons cobre (II) para aplicação agroquímica. 2012, pág. 37, Tabela 11.

Os estudos realizados por ANDRADE et al. (2014), também em relação ao processo de síntese e caracterização das nanopartículas de sílica, apresentam uma abordagem diferente, utilizando-se de uma rota diferente para a síntese das tais partículas, porém utilizando-se de métodos similares para a análise. Segundo os autores, o método que utilizaram para a síntese das nanopartículas obtiveram resultados de, em média, partículas de 400 nanômetros. “As nanopartículas de sílica MCM-41 foram sintetizadas com sucesso. Foi possível obter nanopartículas com tamanho médio de aproximadamente 400 nm. A funcionalização dessas nanopartículas com APTES e AS foi bem sucedida. A conjugação das nanopartículas com o aptâmero anti-CEA foi obtida e confirmada por PCR.” (ANDRADE, Edésia Martins Barros de Sousa et al. PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE SÍLICA MESOPOROSA MCM-41 FUNCIONALIZADAS COM APTÂMERO E RADIOMARCADAS COM 90 Y. 2014).

No trabalho de 2019 de FONSECA et al. também tratando da síntese e caracterização das nanopartículas de sílica, em formato análogo as análises realizadas pelos outros dois estudos apresentados anteriormente. Nesse estudo, realizando as devidas análises, os autores apresentam diâmetros médios de nanopartículas de sílica em aproximadamente 51 nanômetros. “A morfologia das NSMs foi observada por MET, conforme mostrado na Figura 8. As nanopartículas exibiram formato esférico, com uma estrutura porosa caracterizada por uma topografia irregular e um diâmetro médio de 51 ± 8 nm (Figura 9). A presença de fractais também é notada nas nanopartículas, sendo resultante da elevada quantidade de grupos fenil, que aumenta o espaçamento entre as caudas hidrofóbicas das micelas de CTAB durante o processo de co-condensação do PTES/TEOS. Ao redor desse espaçamento a casca de sílica é formada, gerando os fractais comentados.” (FONSECA, Leandro Carneiro et al. Desenvolvimento de nanocompósitos de óxido de grafeno decorado com nanopartículas de sílica mesoporosa como nanocarreadores de fármacos: síntese, caracterização e interações com sistemas biológicos. 2019. Pág. 44).

Com tais dados e informações em mãos é possível estabelecer três grupos de nanopartículas que serão utilizadas posteriormente neste mesmo trabalho. Utilizando de todos os três trabalhos, podemos estabelecer três tamanhos médios para as nanopartículas de sílica. O primeiro e mais próximo do que se apresenta hoje no mercado, espécies próximas de 1 micrômetro, é a do trabalho realizado por ANDRADE et al. (2014), que apresenta um tamanho médio de 400 nanômetros em suas partículas. Já um segundo grupo, unindo os trabalhos de FONSECA et al. (2019) e de BELINI et al. (2002), podemos chegar em um valor médio de 53 nanômetros para as nanopartículas de sílica. O terceiro grupo, utilizando-se como base o estudo realizado por BELINI et al. (2002), podemos chegar em um último valor médio para as nanopartículas de 17 nanômetros.

DESCRIÇÕES MATEMÁTICAS DAS COLUNAS CROMATOGRÁFICAS

Dadas os vários mecanismos que podem ser alterados para melhorar o desempenho das colunas cromatográficas, como a diluição de solventes, a mistura de solventes, a variação de concentração da amostra a ser estudada, temperatura, entre outros diversos aspectos físico-químicos, o fator primário, como descrito por SNYDER et al. (2010), é o tamanho das partículas. Fazendo uma citação direta de seu livro *Introduction to Modern Liquid Chromatography*, temos as relações matemáticas que descrevem o número e altura de ratos teóricos dentro de colunas cromatográficas a partir do tamanho da coluna e da partícula que está sendo utilizada.

“Particle size is a primary factor in determining column efficiency as measured by the plate number N . This is illustrated in Figure 5.3 for several columns of varied particle diameter; the plate height H (inversely proportional to N) is plotted versus mobile-phase velocity u (proportional to flow rate). As the diameter d_p of the porous particles decreases

from 5 to 1.8 μm , the plate height H decreases—corresponding to an increase in column efficiency per mm of column length. For well-packed columns of totally porous particles, the reduced plate height $h = H/d_p$ for a small molecule is ≈ 2 , which until about 2006 was accepted as a lower limit for well-packed columns filled with totally porous particles (Section 2.4.1).” (SNYDER et al., 2010, Cap. 5, Pag. 205.)

“The value of N reported is usually for separation conditions that are close to “ideal” (low-viscosity mobile phase, a small, neutral solute molecule, near-optimum flow rate). This value of N will often differ from that found for other solutes and/or operating conditions, for reasons described in Section 2.4.1. For columns of totally porous particles, the following equation can be used to estimate the plate number for a well-packed column and conditions that have been optimized for maximum N :

$$N \approx \frac{500L}{d_p} \quad (5.5)$$

Here the column length L is in mm, and the particle diameter d_p is in μm . Table 5.10 shows typical plate-number values (neutral solute molecules with molecular weights of ≈ 200 Da) for well-packed HPLC columns of various lengths, particle sizes and types. The values in Table 5.10 assume a column diameter of 4.6 mm; a column diameter ≤ 2 mm can result in values of N that are lower, possibly because of the less-efficient packing of small-diameter columns, but mainly because of extra-column peak broadening.” (SNYDER et al., 2010, Cap. 5, Pag. 245.)

APLICAÇÃO DAS FÓRMULAS REFERENTES AS NANOPARTÍCULAS

Conforme apresentado e descrito no Capítulo 3 deste mesmo artigo, as fórmulas matemáticas que descrevem a quantidade de pratos teóricos dependem do tamanho da coluna cromatográfica e do tamanho da partícula. Logo, podemos relacionar os métodos de síntese e análise descritos no Capítulo 2, referentes as nanopartículas de sílica e, principalmente, seu diâmetro, e como esses fatores interferem no desempenho de uma coluna de cromatografia. Para poder aplicar em um parâmetro comparável, o tamanho das colunas cromatográficas que serão abordadas, vão de: 30 mm de comprimento até 250 mm de comprimento, como descrito na Tabela 1. O diâmetro das nanopartículas que serão estudadas irá variar de acordo com o que foi observado por BELINI et al. (2012), ANDRADE et al. (2014) e FONSECA et al. (2019), que seguirá uma média referente ao diâmetro das nanopartículas, como descrito na Tabela 2.

Coluna Cromatográfica	Tamanho da Coluna (mm)
Coluna A	30
Coluna B	50
Coluna C	100
Coluna D	150
Coluna E	250

Tabela 1 – Tamanho das Colunas Cromatográficas em milímetros.

Partícula	Diâmetro Médio da Partícula (nm)
Partícula 1	400
Partícula 2	53
Partícula 3	17

Tabela 2 – Diâmetro Médio das Nanopartículas de Sílica a serem utilizadas nos cálculos.

Seguindo as fórmulas matemáticas apresentadas por SNYDER et al. (2010), a relação matemática que descreve o número de pratos teóricos dentro de uma coluna cromatográfica é:

$$N \approx \frac{500L}{d_p}$$

Sendo que, N representa o número de pratos teóricos; L é o comprimento da coluna; d_p é o diâmetro da partícula em micrometros (μm). A partir dos valores obtidos na Tabela 1 e na Tabela 2, é possível determinar o número dos pratos teóricos.

Utilizando uma ferramenta de tabelamento e de cálculos automatizada, como o Microsoft Excel (365), podemos chegar a esses valores de maneira bastante simplificada.

As relações entre as duas tabelas, seguirão o esquema descrito na Tabela 3.

Coluna / Partícula	Coluna A	Coluna B	Coluna C	Coluna D	Coluna E
Partícula 1	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Partícula 2	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
Partícula 3	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15

Tabela 3 – Associações Entre as Tabelas 1 e 2.

O resultado dessas associações, CP, resulta em 15 possíveis combinações entre o tamanho das colunas e os diâmetros das partículas.

Realizando os cálculos seguindo a fórmula proposta e, transformando o diâmetro das nanopartículas de nanômetros para micrômetros, obtemos os resultados mostrados na Tabela 4.

Associação	Comprimento da Coluna	Diâmetro da Partícula	Número de Pratos Teóricos
CP1	30,000 mm	0,400 μm	37.500
CP2	50,000 mm	0,400 μm	62.500
CP3	100,000 mm	0,400 μm	125.000
CP4	150,000 mm	0,400 μm	187.500
CP5	250,000 mm	0,400 μm	312.500
CP6	30,000 mm	0,053 μm	283.019
CP7	50,000 mm	0,053 μm	471.699
CP8	100,000 mm	0,053 μm	943.397
CP8	150,000 mm	0,053 μm	1.415.095
CP10	250,000 mm	0,053 μm	2.358.491
CP11	30,000 mm	0,017 μm	882.353
CP12	50,000 mm	0,017 μm	1.470.589
CP13	100,000 mm	0,017 μm	2.941.177
CP14	150,000 mm	0,017 μm	4.411.765
CP15	250,000 mm	0,017 μm	7.352.942

Tabela 4 - Resultado do Cálculo do Número de Pratos Teóricos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises referentes ao possível aumento de resolução das colunas cromatográficas pode ser feito a partir da comparação entre os resultados obtidos e, cálculos já realizados com valores mais próximos do que é utilizado no mercado. No livro *Introduction to Modern Liquid Chromatography* de SNYDER, Lloyd R.; KIRKLAND, Joseph J.; DOLAN, os autores trazem uma tabela que apresenta o mesmo cálculo realizado Capítulo 4.

Diâmetro (μm)	Tamanho da Coluna (mm)	Número de Pratos Aproximado
5,000	30,000	2.500 – 3.000
5,000	50,000	4.500 – 5000
5,000	100,000	8.000 – 10.000
5,000	150,000	12.000 – 15.000
5,000	250,000	20.000 – 25.000
3,500	30,000	3.000 – 4.000
3,500	50,000	5.500 – 7.000
3,500	100,000	10.500 – 14.000
3,500	150,000	17.000 – 21.000
2,700	30,000	7.000 – 8.000
2,700	50,000	9.000 – 11.000
2,700	100,000	18.000 – 22.000
2,700	150,000	28.000 – 34.000

1,800	30,000	6.000 – 7.000
1,800	50,000	10.000 – 12.000
1,800	100,000	20.000 – 25.000

Tabela 5 - Valores Relacionados por SNYDER et al.

Segundo os dados reunidos pelos autores, podemos então comparar os valores dos Números de Pratos Teóricos, associados a diferentes diâmetros de partículas com os cálculos realizado e demonstrados na Tabela 4. Para tal, separaremos as discussões de acordo com o tamanho do comprimento das colunas cromatográficas, para melhor poder analisar as relações que podem ser feitas. Além disso, para aprimorar ainda mais as discussões, serão apenas consideradas os valores apresentados por SNYDER et al. (2010), das partículas totalmente porosas, pois, se alteramos o tipo de partícula, também é alterado a eficiência desta mesma coluna, como também demonstrados pelos autores.

COLUNAS CROMATOGRÁFICAS DE 30 MM

Para determinar se existe melhoramento na qualidade das análises cromatográficas para esse comprimento de coluna, foi comparado os resultados obtidos a partir dos cálculos realizado em CP1, CP6, CP11, com os valores mostrados na tabela trazida por SNYDER et al. (2010).

A tabela de Snyder trás valores cada vez maiores de pratos teóricos conforme o tamanho da partícula diminui. Assim como é possível observar com os cálculos realizados, nesse sentido, as menores partículas geram números maiores de pratos teóricos, sendo que a menor partícula ($0,017 \mu\text{m}$) está associada à CP11 e a maior ($0,400 \mu\text{m}$) à CP1, para este comprimento de coluna. Assim também é possível notar que, o aumento do Número de Pratos Teóricos (N) é proporcional, de modo que para a CP1 o N equivale a aproximadamente 37.500 e para o CP11 o N equivale aproximadamente a 882.353.

A Tabela 6 mostra a associação de diferentes tamanhos de partículas, com o tamanho da coluna e os respectivos pratos teóricos. A ordem da tabela segue a ordem decrescente do diâmetro das partículas.

Associação	Tamanho da Coluna	Diâmetro da Partícula	Número de Pratos Teóricos
SNY ¹	30,000 mm	5,000 μm	2.500 - 3.000
SNY ¹	30,000 mm	3,500 μm	3.000 - 4.000
SNY ¹	30,000 mm	2,700 μm	7.000 - 8.000
SNY ¹	30,000 mm	1,800 μm	6.000 - 7.000
CP1	30,000 mm	0,400 μm	37.500
CP6	30,000 mm	0,053 μm	283.019

CP11	30,000 mm	0,017 μm	882.353
------	-----------	---------------------	---------

1 - Valores Trazidos por SNYDER et al. (2010).

Tabela 6 - Associação do Tamanho da Partícula e o Número de Pratos Teóricos.

Desse modo, podemos concluir que a diminuição dos diâmetros das partículas de 5 μm para 0,017 μm , resulta em um aumento do Número de Pratos Teóricos de 35.294,12%, ou em valores absolutos de 2.500 pratos teóricos 882.353 pratos teóricos.

COLUNAS CROMATOGRÁFICAS DE 50 MM

Para determinar se existe melhoramento na qualidade das análises cromatográficas para esse comprimento de coluna, foi comparado os resultados obtidos a partir dos cálculos realizado em CP2, CP7, CP12, com os valores mostrados na tabela trazida por SNYDER et al. (2010).

A tabela de Snyder trás valores cada vez maiores de pratos teóricos conforme o tamanho da partícula diminui. Assim como é possível observar com os cálculos realizados, nesse sentido, as menores partículas geram números maiores de pratos teóricos, sendo que a menor partícula (0,017 μm) está associada à CP12 e a maior (0,400 μm) à CP17, para este comprimento de coluna. Assim também é possível notar que, o aumento do Número de Pratos Teóricos (N) é proporcional, de modo que para a CP2 o N equivale a aproximadamente 62.500 e para o CP12 o N equivale aproximadamente a 1.470.589.

A Tabela 7 mostra a associação de diferentes tamanhos de partículas, com o tamanho da coluna e os respectivos pratos teóricos. A ordem da tabela segue a ordem decrescente do diâmetro das partículas.

Associação	Tamanho da Coluna	Diâmetro da Partícula	Número de Pratos Teóricos
SNY ¹	50,000 mm	5,0000 μm	4.500 - 5.000
SNY ¹	50,000 mm	3,5000 μm	5.500 - 7.000
SNY ¹	50,000 mm	2,700 μm	9.000 - 11.000
SNY ¹	50,000 mm	1,8000 μm	10.000 - 12.000
CP2	50,000 mm	0,400 μm	62.500
CP7	50,000 mm	0,053 μm	471.699
CP12	50,000 mm	0,017 μm	1.470.589

1 - Valores Trazidos por SNYDER et al. (2010).

Tabela 7 - Associação do Tamanho da Partícula e o Número de Pratos Teóricos.

Desse modo, podemos concluir que a diminuição dos diâmetros das partículas de 5,000 μm para 0,017 μm , resulta em um aumento do Número de Pratos Teóricos de 32.679,76%, ou em valores absolutos de 4.500 pratos teóricos para 1.470.589 pratos teóricos.

COLUNAS CROMATOGRÁFICAS DE 100 MM

Para determinar se existe melhoramento na qualidade das análises cromatográficas para esse comprimento de coluna, foi comparado os resultados obtidos a partir dos cálculos realizado em CP3, CP8, CP13, com os valores mostrados na tabela trazida por SNYDER et al. (2010).

A tabela de Snyder trás valores cada vez maiores de pratos teóricos conforme o tamanho da partícula diminui. Assim como é possível observar com os cálculos realizados, nesse sentido, as menores partículas geram números maiores de pratos teóricos, sendo que a menor partícula ($0,017 \mu\text{m}$) está associada à CP13 e a maior ($0,400 \mu\text{m}$) à CP3, para este comprimento de coluna. Assim também é possível notar que, o aumento do Número de Pratos Teóricos (N) é proporcional, de modo que para a CP3 o N equivale a aproximadamente 125.000 e para o CP13 o N equivale aproximadamente a 2.941.177.

A Tabela 8 mostra a associação de diferentes tamanhos de partículas, com o tamanho da coluna e os respectivos pratos teóricos. A ordem da tabela segue a ordem decrescente do diâmetro das partículas.

Associação	Tamanho da Coluna	Diâmetro da Partícula	Número de Pratos Teóricos
SNY ¹	100,000 mm	5,0000 μm	8.000 - 10.000
SNY ¹	100,000 mm	3,5000 μm	10.500 - 14.000
SNY ¹	100,000 mm	2,700 μm	18.000 - 22.000
SNY ¹	100,000 mm	1,8000 μm	18.000 - 20.000
CP3	100,000 mm	0,400 μm	125.000
CP8	100,000 mm	0,053 μm	943.397
CP13	100,000 mm	0,017 μm	2.941.177

1 - Valores Trazidos por SNYDER et al. (2010).

Tabela 8 - Associação do Tamanho da Partícula e o Número de Pratos Teóricos.

Desse modo, podemos concluir que a diminuição dos diâmetros das partículas de $5,000 \mu\text{m}$ para $0,017 \mu\text{m}$, resulta em um aumento do Número de Pratos Teóricos de 36.764,7%, ou em valores absolutos de 8.000 pratos teóricos para 2.941.177 pratos teóricos.

COLUNAS CROMATOGRÁFICAS DE 150 MM

Para determinar se existe melhoramento na qualidade das análises cromatográficas para esse comprimento de coluna, foi comparado os resultados obtidos a partir dos cálculos realizado em CP4, CP9, CP14, com os valores mostrados na tabela trazida por SNYDER et al. (2010).

A tabela de Snyder trás valores cada vez maiores de pratos teóricos conforme o tamanho da partícula diminui. Assim como é possível observar com os cálculos realizados, nesse sentido, as menores partículas geram números maiores de pratos teóricos, sendo que a menor partícula ($0,017 \mu\text{m}$) está associada à CP14 e a maior ($0,400 \mu\text{m}$) à CP4, para este comprimento de coluna. Assim também é possível notar que, o aumento do Número de Pratos Teóricos (N) é proporcional, de modo que para a CP4 o N equivale a aproximadamente 187.500 e para o CP14 o N equivale aproximadamente a 4.411.765.

A Tabela 9 mostra a associação de diferentes tamanhos de partículas, com o tamanho da coluna e os respectivos pratos teóricos. A ordem da tabela segue a ordem decrescente do diâmetro das partículas.

Associação	Tamanho da Coluna	Diâmetro da Partícula	Número de Pratos Teóricos (N)
SNY ¹	150,000 mm	5,0000 μm	12.000 - 15.000
SNY ¹	150,000 mm	3,5000 μm	17.000 - 21.000
SNY ¹	150,000 mm	2,7000 μm	18.000 - 34.000
CP4	150,000 mm	0,400 μm	187.500
CP9	150,000 mm	0,053 μm	1.415.095
CP14	150,000 mm	0,017 μm	4.411.765

1 - Valores Trazidos por SNYDER et al. (2010).

Tabela 9 - Associação do Tamanho da Partícula e o Número de Pratos Teóricos.

Desse modo, podemos concluir que a diminuição dos diâmetros das partículas de $5,000 \mu\text{m}$ para $0,017 \mu\text{m}$, resulta em um aumento do Número de Pratos Teóricos de 36,764,71%, ou em valores absolutos de 12.000 pratos teóricos para 4.411.765 pratos teóricos.

COLUNAS CROMATOGRÁFICAS DE 250 MM

Para determinar se existe melhoramento na qualidade das análises cromatográficas para esse comprimento de coluna, foi comparado os resultados obtidos a partir dos cálculos realizado em CP5, CP10, CP15, com os valores mostrados na tabela trazida por SNYDER et al. (2010).

A tabela de Snyder trás valores cada vez maiores de pratos teóricos conforme o tamanho da partícula diminui. Assim como é possível observar com os cálculos realizados, nesse sentido, as menores partículas geram números maiores de pratos teóricos, sendo que a menor partícula ($0,017 \mu\text{m}$) está associada à CP15 e a maior ($0,400 \mu\text{m}$) à CP5, para este comprimento de coluna. Assim também é possível notar que, o aumento do Número de Pratos Teóricos (N) é proporcional, de modo que para a CP5 o N equivale a

aproximadamente 312.500 e para o CP15 o N equivale aproximadamente a 7.352.942.

A Tabela 10 mostra a associação de diferentes tamanhos de partículas, com o tamanho da coluna e os respectivos pratos teóricos. A ordem da tabela segue a ordem decrescente do diâmetro das partículas.

Associação	Tamanho da Coluna	Diâmetro da Partícula	Número de Pratos Teóricos
SNY ¹	250,000 mm	5,000 μm	20.000-25.000
CP5	250,000 mm	0,400 μm	312.500
CP10	250,000 mm	0,053 μm	2.358.491
CP15	250,000 mm	0,017 μm	7.352.942

1 - Valores Trazidos por SNYDER et al. (2010).

Tabela 10 - Associação do Tamanho da Partícula e o Número de Pratos Teóricos.

Desse modo, podemos concluir que a diminuição dos diâmetros das partículas de 5,000 μm para 0,017 μm , resulta em um aumento do Número de Pratos Teóricos de 46.992,5%, ou em valores absolutos de 20.000 pratos teóricos para 7.352.942 pratos teóricos.

CONCLUSÃO

Conforme apresentados nos capítulos anteriores, os métodos de síntese das nanopartículas de sílica apresentam eficácia comprovada por diversos autores, e tem-se em média, bons resultados quanto ao diâmetro dessas partículas, assim sendo, podendo ser aplicadas no propósito deste trabalho. Já na perspectiva matemática, conforme mostrado por SNYDER et al. (2010), o Número de Pratos Teóricos, o primeiro de muitos fundamentos para estabelecer a eficácia de colunas cromatográficas, depende do tamanho da coluna, quanto maior melhor será o desempenho, e o diâmetro das partículas, quanto menor melhor será o desempenho. Dessa forma é possível comparar colunas de mesmo comprimento com diferentes recheios, compostos de partículas de diferentes tamanhos, uma vez que é inútil comparar colunas de tamanhos diferentes, dado que as maiores terão logicamente um melhor desempenho e resolução.

Considerando todos esses aspectos é possível analisar o que se decorreu no capítulo 5. Colunas de mesmo comprimento com tamanhos de partículas tem aumentos significativos de Número de Pratos Teóricos, assim sendo, conforme apresentado no capítulo anterior, quando comparamos as maiores partículas trazidas por SNYDER et al. (2010) e as comparamos com as que foram apresentadas por BELINI et al. (2002), temos aumentos na casa dos 36.000%. Esse fator se deve principalmente a diferença entre a escala que está sendo analisada, em que 1 micrômetro equivale a 1000 nanômetros. Dessa forma, aumentos em percentuais na casa dos milhares são totalmente compreensíveis.

Esse aumento resulta em casos como, nas menores colunas, saltos de 2.500 Pratos Teóricos para cerca de 800.000 Pratos Teóricos. E essas proporções se repetem em colunas maiores, como mostrado principalmente pelos aumentos em percentual, que estão em média em 37.690,16%. Tendo como base as outras relações apresentadas por SNYDER et al. (2010) em seu livro *Introduction to Modern Liquid Chromatography*, como a Altura dos Pratos Teóricos, Constante de Distribuição, Tempo de Retenção, Velocidade Média Linear, e a principal, a Resolução, de uma coluna cromatográfica são diretamente impactados pelos aumentos no Número de Pratos Teóricos.

Tendo que, a relação entre o Número de Pratos Teóricos sendo diretamente proporcional a Resolução, ou seja, quanto maior o Número de Pratos Teóricos maior será a Resolução de uma coluna, com os dados obtidos neste trabalho é possível corroborar a hipótese de que se forem aplicadas nanopartículas de sílica em colunas cromatográfica obteremos um aumento significativo na resolução. Também é possível concluir que os outros fatores que dependem do Número de Pratos Teóricos, como citados anteriormente, também sofrerão alteração com um aumento tão substancial no Número de Pratos Teóricos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Edésia Martins Barros de Sousa et al. Preparação e Caracterização de Nanopartículas de Sílica Mesoporosa MCM-41 Funcionalizadas com Aptâmero e Radiomarcadas com ⁹⁰Y. 2014.

BELINI, Tábita Cristina et al. Síntese e caracterização de nanopartículas de sílica contendo íons cobre (II) para aplicação agroquímica. 2012.

CANELLA, Kathya M^a; GARCIA, Rosangela Balaban. Caracterização de quitosana por cromatografia de permeação em gel-influência do método de preparação e do solvente. **Química Nova**, v. 24, n. 1, p. 13-17, 2001.

CUNHA, Jamili Altoé da. **Encapsulamento de nanopartículas magnéticas e curcumina em sílica visando aplicações biomédicas**. 2018.

FONSECA, Leandro Carneiro et al. Desenvolvimento de Nanocompósitos de Óxido de Grafeno Decorado com Nanopartículas de Sílica Mesoporosa como Nanocarreadores de Fármacos: Síntese, Caracterização e Interações com Sistemas Biológicos. 2019.

LEAL, Vivane Lopes et al. Avanços recentes na miniaturização de colunas para cromatografia líquida. **Scientia Chromatographica**, v. 9, n. 2, p. 117-133, 2017.

LEAL, Vivane Lopes. **Desenvolvimento de colunas capilares e aplicação de programação de temperatura em cromatografia líquida capilar**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MALDANER, Liane; COLLINS, Carol H.; JARDIM, Isabel CSF. Fases estacionárias modernas para cromatografia líquida de alta eficiência em fase reversa. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1559-1568, 2010.

MALDANER, Liane; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. O estado da arte da cromatografia líquida de ultra eficiência. **Química nova**, v. 32, n. 1, p. 214-222, 2009.

SILVA, Carla Grazieli Azevedo da; COLLINS, Carol H. Aplicações de cromatografia líquida de alta eficiência para o estudo de poluentes orgânicos emergentes. **Química Nova**, v. 34, n. 4, p. 665-676, 2011.

SILVAA, Brunela P.; AOKIB, Idalina V. **Estudo de nanopartículas de sílica para encapsulamento de inibidor de corrosão**. 2018.

SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, Fundamentos de **Química Analítica**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006. 2.

SNYDER, Lloyd R.; KIRKLAND, Joseph J.; DOLAN, John W. Introduction to Modern Liquid Chromatography. 3rd ed. WILEY. 2010.

TONHI, Edivan et al. Fases estacionárias para cromatografia líquida de alta eficiência em fase reversa (CLAE-FR) baseadas em superfícies de óxidos inorgânicos funcionalizados. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 616-623, 2002.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 30, 31, 32, 72

Adsorvente 3, 4, 5, 6, 8, 20, 21, 61, 63, 64

Afluentes 19

Agência Nacional do Petróleo - ANP 157, 159, 160, 193

Águas subterrâneas 75

Águas superficiais 19, 57, 69, 70, 71, 81

Análise cromatográfica 216

Antibióticos 18, 80, 81

Atomização 87, 88, 89, 90, 91, 197, 201

B

Bioadsorvente 238

Biochemical Oxygen Demand (BOD) 9, 10

Biocombustíveis 8, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 105, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 161, 193

Biodiesel 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

C

Carvão ativado 3, 10, 18, 21, 32, 72

Cascas de maracujá 1, 2, 3, 4, 6, 7

Catalisador 93, 94, 95, 98, 108, 109, 118

Chemical Oxygen Demand (COD) 9, 10

Cinética 18, 20, 21, 24, 26, 28, 41, 106

Colunas cromatográficas 215, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226

Combustíveis fósseis 94, 102

Compressibilidade 196, 197

Corpos hídricos 19, 57, 59, 60, 70

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) 33, 77, 216, 227, 228

D

Densidade 88, 89, 92, 93, 96, 97, 98, 108, 119, 121, 127, 128, 149, 196, 197, 198, 199, 200

Densidade aerada 89, 196, 197, 200

Densidade aparente 92, 196, 198

E

Efeito estufa 45, 46, 49, 94, 102

Efluentes 3, 5, 19, 31, 59, 60, 114, 116, 120, 123, 124, 182, 238

Efluentes domésticos 19

Efluentes industriais 59

Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS) 217

Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 76, 81, 119, 124, 238

F

Fármacos 19, 32, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 218, 227

Fraturas induzidas 150

Fraturas naturais 148

Funil 4, 22, 196, 197, 198, 199, 200

G

Garrafa PET 197

Grafeno 18, 21, 31, 218, 227

H

Hidrofobizada 1, 6, 8

Hormônios 18, 60, 77

I

Impacto ambiental 54, 55

Índices de fluidez de *Hausner* e de *Carr* 87

Inhame 87, 88, 89, 90, 91

Injeção de polímeros 145, 146, 147, 148, 149, 150, 154, 155

Ivermectina 18, 19, 21, 31, 32

M

Materiais particulados 196

Matéria-prima 88, 95, 114, 115, 116, 117, 196

Matrizes aquosas 74, 82

Mesh 1, 2, 4, 6, 10, 36

Microplásticos 77

N

Nanopartículas 215, 217, 218, 219, 220, 226, 227, 228

O

Óleo de fritura 93, 94, 95, 97, 98, 99

Óleo de soja 93, 94, 95, 97, 98, 99

Óleo diesel 1, 4

Organic matter 9, 15, 16

P

Pesticidas 18, 77, 79, 80, 81, 82

Petróleo 1, 2, 5, 8, 34, 35, 36, 37, 94, 96, 99, 102, 103, 104, 126, 127, 128, 129, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 173, 174, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 203, 204, 212, 213, 215

Polímero 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 216

Processos convencionais de tratamento de água e esgoto 18, 78

R

Reaproveitamento 123

Recuperação Avançada de Petróleo (EOR) 126, 128, 145, 146, 147

Recursos hídricos 59, 61, 76, 82, 123

Renovável 93, 94, 95, 102, 104, 105

Reservatórios Não-Convencionais (RNC) 147

Resíduos agroindustriais 3, 5, 7, 122

S

Separação granulométrica 1, 4

Sílica 215, 216, 217, 218, 219, 220, 226, 227, 228

Solução polimérica 147, 149, 150, 151, 154

Surfactantes 18, 34, 82

Sustentável 49, 94, 101, 193, 200, 236

T

Transesterificação etílica 93, 98, 99

Turbidez 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

U

Umidade 60, 88, 89, 90, 103, 107, 108, 109, 232

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br