

Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Princípios de Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P957	Princípios de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-422-1 DOI 10.22533/at.ed.221192406 1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia. CDD 540.7
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO

Karina Carvalho de Souza

Gabriela Rodrigues dos Santos

Grazielly Maria Didier de Vasconcelos

Paulo Henrique Marrocos de Oliveira

Yêda Medeiros Bastos de Almeida

Felipe Cunha da Silva Trindade

Glória Maria Vinhas

DOI 10.22533/at.ed.2211924061

CAPÍTULO 2 7

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)

Heloisa Barbara Rozario Azevedo

Fabiane De Oliveira Santana

Paula Hortência Santos Magalhães

Maria Karoline Silva Souza

Caio Cezar Neves Kunrath

Menilde Araújo Silva Bião

Franco Dani Rico Amado

Bruno Souza Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.2211924062

CAPÍTULO 3 12

OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA

Pablo Eduardo Costa dos Santos

Cristiane Xavier Resende

Zaine Teixeira Camargo

DOI 10.22533/at.ed.2211924063

CAPÍTULO 4 19

CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO

Nívia do Nascimento Marques

Rosângela de Carvalho Balaban

Sami Halila

Redouane Borsali

DOI 10.22533/at.ed.2211924064

CAPÍTULO 5 32

PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS

Carlos Bruno Barreto Luna

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

*Danilo Diniz Siqueira
Edcleide Maria Araújo
Elieber Barros Bezerra*

DOI 10.22533/at.ed.2211924065

CAPÍTULO 6 50

SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA

*Bruna Luiza Batista de Lima
Nívia do Nascimento Marques
Marcos Antonio Villetti
Rosângela de Carvalho Balaban*

DOI 10.22533/at.ed.2211924066

CAPÍTULO 7 58

FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)

*Rachel Margalho Barreira Valentim
Izael Pinho dos Santos
Victor Soares Pereira
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias
Marcos Allan Leite dos Reis*

DOI 10.22533/at.ed.2211924067

CAPÍTULO 8 64

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE

*Ingrid Lessa Leal
Yasmin Carolino da Silva Rosa
Josiane Dantas Viana Barbosa
Janice Izabel Druzian
Bruna Aparecida Souza Machado*

DOI 10.22533/at.ed.2211924068

CAPÍTULO 9 74

CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA

*Marina R. d Andrade
Taynã Isis de S. Santana
Bruna A. S. Machado*

DOI 10.22533/at.ed.2211924069

CAPÍTULO 10 79

EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS

*Michel Zampieri Fidelis
Heitor Suyama
Eduardo Abreu
Denise Milleo Almeida
Giane Gonçalves Lenzi*

DOI 10.22533/at.ed.22119240610

CAPÍTULO 11	93
UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL	
<i>Fernanda Vieira Amorim</i>	
<i>Márcia Ramos Luiz</i>	
<i>Ewellyn Silva Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240611	
CAPÍTULO 12	105
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO	
<i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>	
<i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>	
<i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>	
<i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>	
<i>Ari Clecius Alves de Lima</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240612	
CAPÍTULO 13	117
ADSORÇÃO DE CO ₂ EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO	
<i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>	
<i>Eloy Sanz-Pérez</i>	
<i>Raul Sanz</i>	
<i>Amaya Arencibia</i>	
<i>Guillermo Calleja</i>	
<i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240613	
CAPÍTULO 14	132
CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA	
<i>Riann Queiroz Nóbrega</i>	
<i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>	
<i>Lorena Lucena De Medeiros</i>	
<i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>	
<i>Joelma Moraes Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240614	
CAPÍTULO 15	140
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL	
<i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>	
<i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<i>Antonio Cícero De Sousa</i>	
<i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240615	

CAPÍTULO 16 147

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO₂ POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

Suélen Maria de Amorim
Michele Di Domenico
Tirzhá Lins Porto Dantas
Humberto Jorge José
Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira

DOI 10.22533/at.ed.22119240616

CAPÍTULO 17 157

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

Joseane Damasceno Mota
Rochelia Silva Souza Cunha
Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos
Meiry Glaucia Freire Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.22119240617

CAPÍTULO 18 166

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

Déborah Fernanda Mamedes da Silva
Deivid Sousa de Figueiroa

DOI 10.22533/at.ed.22119240618

CAPÍTULO 19 177

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

Nathália Favarin da Silva
Enrique Chaves Peres
Guilherme Luiz Dotto

DOI 10.22533/at.ed.22119240619

CAPÍTULO 20 186

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

Ana Clara Correia Queiroz da Silva
Francisco Mateus Gomes do Nascimento
Francisco Renan Lima Amorim
Guilherme Augusto Magalhães Júnior
Cícero Pessoa de Moura
Rafael Ribeiro Portela
Mayara Sousa de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.22119240620

CAPÍTULO 21 195

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

Paulo Henrique Almeida da Hora
Lizandra Fernanda Araújo Campos
Antonio Cícero de Sousa

CAPÍTULO 22 202

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

Giovani Santana Silva

Ângelo Capri Neto

Maria da Rosa Capri

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

CAPÍTULO 23 215

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

Lúcia Allebrandt da Silva Ries

Joyce Helena da Silveira

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

CAPÍTULO 24 227

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

Sharise Beatriz Roberto

Jomar Berton Junior

Rúbia Michele Suzuki

Elton Guntendorfer Bonafé

Makoto Matsushita

Edmilson Antonio Canesin

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

CAPÍTULO 25 242

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

María Magdalena Costanzo

Rocio Belén Garate

Nora Alejandra Comelli

Nora Andrea Merino

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

CAPÍTULO 26 253

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

Kimberly Paim Abeta

Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro

Larissa Soares Lima

Leila Maria Aguilera Campos

Sirlene Barbosa Lima

Maria Luiza Andrade da Silva

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

CAPÍTULO 27	267
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240627	
CAPÍTULO 28	282
O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD)	
<i>Eziel Cardoso da Silva</i>	
<i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>	
<i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>	
<i>Antônio Araújo Rodrigues</i>	
<i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>	
<i>Davi da Silva</i>	
<i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>	
<i>Francisco Maycon Soares</i>	
<i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>	
<i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>	
<i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>	
<i>Julianna de Sousa Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240628	
SOBRE A ORGANIZADORA	292

SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA

Bruna Luiza Batista de Lima

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Instituto de Química, Laboratório de Pesquisa em
Petróleo (LAPET) Natal – Rio Grande do Norte

Nívia do Nascimento Marques

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Instituto de Química, Laboratório de Pesquisa em
Petróleo (LAPET), Natal – Rio Grande do Norte

Marcos Antonio Villetti

Universidade Federal de Santa Maria,
Departamento de Física, Laboratório de
Espectroscopia e Polímeros (LEPOL), Santa
Maria – Rio Grande do Sul

Rosângela de Carvalho Balaban

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Instituto de Química, Laboratório de Pesquisa em
Petróleo (LAPET), Natal – Rio Grande do Norte

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi sintetizar e avaliar o comportamento reológico em meio aquoso salino de uma poli(acrilamida parcialmente hidrolisada) (HPAM) enxertada com o polímero termorresponsivo poli(óxido de etileno-*co*-óxido de propileno) – PEOppo (OE/OP = 19/03). O copolímero foi preparado em água, através do uso dos agentes de acoplamento 1-(3-(dimetilamino)propil)-3-etilcarbodiimida (EDC) e *N*-hidroxissuccinimida (NHS). A caracterização estrutural foi realizada através de ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN ¹H) e o comportamento do

copolímero em meio aquoso salino (K₂CO₃ 0,5M) foi estudado através de medidas reológicas em diferentes temperaturas. Através do espectro de RMN ¹H, foi possível confirmar que o copolímero foi sintetizado com sucesso, assim como calcular o grau de enxertia (0,9%). As medidas reológicas mostraram que o copolímero possui comportamento termoviscosificante acima de 75 °C. Os resultados sugerem que o copolímero HPAM-*g*-PEOPPO é um interessante candidato para recuperação aumentada de petróleo.

PALAVRAS-CHAVE: Termorresponsivo, enxertia, HPAM, Jeffamine®.

ABSTRACT: The objective of this work was to synthesize and evaluate the rheological behavior in saline aqueous media of a partially hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) grafted with the thermoresponsive polymer poly(ethylene oxide-*co*-propylene oxide) – PEOppo (EO/PO = 19/03). The copolymer was prepared in water, by using the coupling agents 1-(3-(dimethylamino)propyl)-3-ethylcarbodiimide (EDC) and *N*-hydroxysuccinimide (NHS). The structural characterization was performed by proton nuclear magnetic resonance (¹H NMR) and the behavior of the copolymer in aqueous saline medium (K₂CO₃ 0.5M) was studied through rheological measurements at different temperatures. Through the ¹H NMR spectrum, it was possible to confirm that the copolymer was

successfully synthesized, as well as to calculate the degree of grafting (0.9%). The rheological measurements showed that the copolymer presents a thermothickening behavior above 75 °C. The results suggest that the HPAM-*g*-PEOPPO copolymer is an interesting candidate for enhanced oil recovery.

KEYWORDS:Thermoresponsive, grafting, HPAM, Jeffamine®.

1 | INTRODUÇÃO

As poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas (HPAM) têm sido utilizadas em grande escala na recuperação aumentada de petróleo (Taylor e Nasr-El-Din, 1998), por promoverem aumento na viscosidade da água que desloca o óleo do reservatório para o poço produtor, melhorando a eficiência do varrido (Taylor e Nasr-El-Din, 1998). Entretanto, devido à flexibilidade de sua cadeia e à presença de grupos $-\text{COO}^-$, é um polímero extremamente sensível a altas salinidades, principalmente cátions divalentes como Ca^{2+} , Mg^{2+} e Sr^{2+} , que podem provocar a diminuição da viscosidade e até a precipitação das macromoléculas (Ikegami e Imai, 1962). Além da salinidade, altas temperaturas encontradas nos reservatórios também diminuem a viscosidade que o polímero confere à água (Giap, 2010).

Sendo assim, seria interessante o desenvolvimento de polímeros com a capacidade de aumentar a viscosidade nas condições severas do reservatório, como alta temperatura e salinidade. Uma alternativa promissora tem sido observada nos chamados polímeros termoviscosificantes, que apresentam a capacidade de aumentar a viscosidade de suas soluções com o aumento da temperatura do meio. Nesse sentido, o estudo de sistemas termoviscosificantes baseados em HPAM é uma excelente alternativa para desenvolvimento e aplicação de novos materiais para a indústria do petróleo.

Jeffamine® é o nome comercial de uma classe de polieteraminas termoresponsivas compostas por meros de óxido de etileno (OE) e óxido de propileno (OP) (PEOPPO), com um ou mais grupos amino na cadeia. A temperatura consoluta inferior, *LCST* (lower critical solution temperature), da Jeffamine® é dependente da proporção entre os dois tipos de meros da cadeia, em que, quanto mais hidrofílica (mais meros de OE) maior é a *LCST*, e quanto mais hidrofóbica (mais meros de OP) menor é a temperatura de turvação do sistema. A presença do grupo $-\text{NH}_2$ possibilita sua reação para obtenção de copolímeros enxertados termoresponsivos, como observado na reação entre os grupos carboxilato do poli(acrilato de sódio) e amino da Jeffamine® M-2070 (De Vos *et al.*, 1994), com o uso de agentes de condensação. Além disso, visando a aplicabilidade na indústria do petróleo, seria interessante a escolha de uma cadeia de PEOPPO com maior proporção de grupos hidrofílicos, para que a associação entre as cadeias enxertadas ocorra apenas nas elevadas temperaturas do reservatório.

Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi a obtenção e caracterização de

copolímeros responsivos à temperatura e à salinidade baseados em HPAM enxertada com a PEOppo Jeffamine® M-1000 (OE/OP = 19/3). A partir desses resultados, os copolímeros foram avaliados como possíveis novos modificadores reológicos em sistemas com elevada força iônica e elevadas temperaturas.

2 | METODOLOGIA

2.1 Materiais

Poliacrilamida parcialmente hidrolisada foi gentilmente doada pela SNF Floerger, com código AN 910 PG2, grau de hidrólise de 14% e $M_v = 3,3 \times 10^5 \text{ g.mol}^{-1}$, conforme fornecido pelo fabricante. Jeffamine® M-1000 (PEOPPO) foi gentilmente doada pela Huntsman. Sua massa molar é de 1130 g.mol^{-1} , composta por 19 meros de óxido de etileno (OE), 3 meros de óxido de propileno (OP) e um grupo amino terminal, conforme indicado pelo fabricante.

Os agentes de acoplamento 1-(3-(dimetilamino)propil)-3-etil-carbodiimida (EDC) e *N*-hidroxisuccinimida (NHS) foram adquiridos da Sigma Aldrich. Cloreto de sódio (NaCl) e carbonato de potássio (K_2CO_3) foram obtidos da Synth, ácido clorídrico (HCl) foi fornecido pela Cromoline e água deuterada (D_2O) foi obtida da Cambridge Isotope Laboratories. Todos os materiais foram utilizados sem purificação prévia.

2.2 Síntese do Copolímero

Para a síntese do copolímero, 1 g de HPAM foi dissolvida em 250 mL de água destilada, através de agitação magnética por 24 horas. A PEOppo foi dissolvida em 100 mL de água destilada durante 30 minutos e, em seguida, adicionada à solução de HPAM. A mistura resultante foi homogeneizada durante 40 minutos e, em seguida, corrigiu-se o pH para 5, usando uma solução de HCl $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Logo após, adicionou-se a NHS, esperou-se cerca de 15 minutos e adicionou-se o EDC. A síntese prosseguiu por 24 horas à temperatura ambiente (aproximadamente $25 \text{ }^\circ\text{C}$) (Figura 1).

Inicialmente, o produto foi purificado por diálise (membrana com ponto de corte de 12000 Da) em solução de NaCl $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$, para blindar as interações eletrostáticas entre a HPAM e o subproduto (Hourdet *et al.*, 1997), com 5 trocas de solução salina. Em seguida, a diálise foi feita em água deionizada até que a condutividade chegasse próximo a condutividade da água destilada. Por fim, o produto foi liofilizado. A síntese foi feita seguindo as proporções (Marques *et al.*, 2018; De Lima *et al.*, 2019) de 1:1:4:2 de $[\text{COO}^-] : [-\text{NH}_2] : [\text{EDC}] : [\text{NHS}]$.

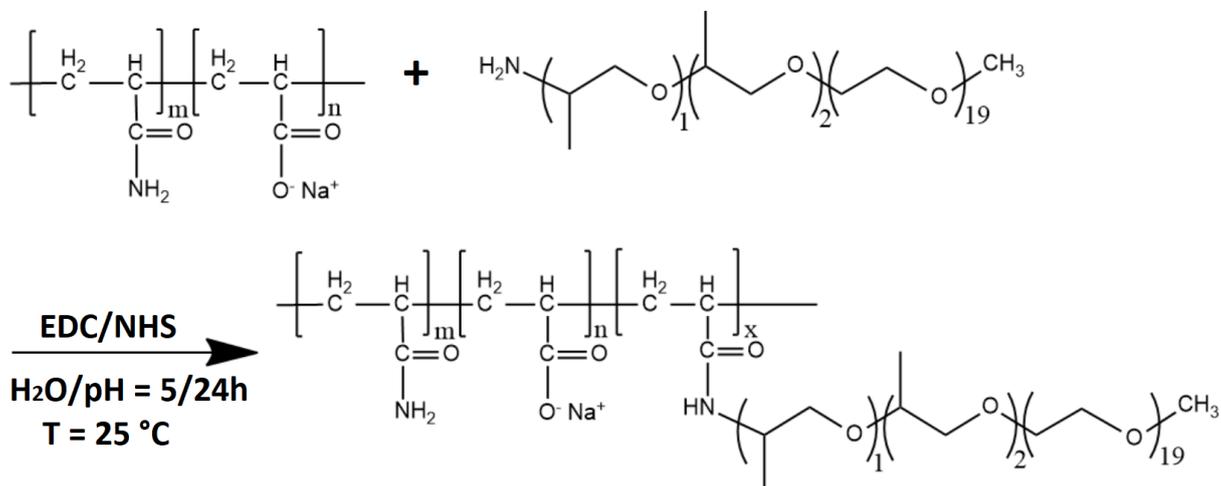


Figura 1: Esquema de reação do copolímero HPAM-*g*-PEOPPO.

2.3 Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio

Os espectros de ressonância magnética nuclear de hidrogênio foram obtidos em um espectrômetro Bruker Biospin de 600 MHz. A determinação da porcentagem de enxertia das cadeias de PEOPPO na HPAM foi determinada a partir dos espectros de RMN ^1H do copolímero, a 25 °C, utilizando uma solução de $\text{D}_2\text{O}/\text{NaCl}$ 15 % (m/v). O valor foi obtido com base na integração dos picos de hidrogênio dos grupos CH_2 da HPAM e dos grupos CH_3 pertencentes aos meros de óxido de propileno da PEOPPO (Atta *et al.*, 2011), utilizando a seguinte equação (Equação 1):

$$\frac{I\text{CH}_2}{3I\text{CH}_3} \times 100\% \quad (1)$$

Em que $I\text{CH}_2$ se refere ao valor da integral dos grupos CH_2 dos meros da HPAM e $I\text{CH}_3$ se refere ao valor da integral dos grupos CH_3 dos meros de óxido de propileno da PEOPPO.

2.4 Medidas Reológicas

As medidas reológicas das soluções poliméricas foram realizadas em um reômetro Haake Mars da Thermo, com sensor do tipo cilindros coaxiais modelo DG41Ti e um controlador de temperatura, do tipo DC50, acoplado ao equipamento. As medidas foram feitas com uma concentração de polímero de $1,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ e variando: (i) taxa de cisalhamento de 0,1 a 1000 s^{-1} e (ii) temperatura de 25, 60, 70, 75 e 80 °C, em solução aquosa de K_2CO_3 $1,25 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados do espectro de RMN ^1H (Tabela 1) observou-se que, diferente da PEOPPO, as metilas dos enxertos no copolímero apresentaram um único pico de deslocamento químico 1,25 ppm. Além disso, o valor do pico foi deslocado para

campo baixo em relação aos picos das metilas do PEPPO não modificado, indicando que a reação de amidação foi bem sucedida. Ainda, no espectro do copolímero houve alargamento dos picos referentes à cadeia de HPAM, com o deslocamento na faixa de 1,40-1,95 ppm para os grupos $-CH_2$ da cadeia de HPAM, enquanto que os grupos $-CH$ da cadeia principal estão em 1,96-2,85 ppm. (De Vos *et al.*, 1994; Karakasyan *et al.*, 2008; Mojarradi, 2010; D'este *et al.*, 2014; Gupta *et al.*, 2015; Marques *et al.*, 2018; De Lima *et al.*, 2019).

Polímero	Deslocamento Químico	Grupo
PEOPPO	0,96-0,97 ppm	$-CH_3$
	1,07-1,08 ppm	$-CH_3$
	2,97-3,08 ppm	$-CH-$
	3,17-3,80 ppm	$-CH-CH_2-$ e $-CH_2-CH_2-$
	3,30 ppm	$-O-CH_3$
HPAM	1,52-1,84 ppm	$-CH_2-$
	2,17-2,42 ppm	$-CH-$
HPAM- <i>g</i> -PEOPPO	1,25 ppm	$-CH_3$
	1,40-1,95 ppm	$-CH_2-$
	1,96-2,85 ppm	$-CH-$
	3,46-3,79 ppm	$-CH-CH_2-$, $-CH_2-CH_2-$, $-O-CH_3$ e $-CH-$

Tabela 1: Dados de deslocamento químico dos espectros de RMN 1H da PEOPPO, HPAM e HPAM-*g*-PEOPPO

O grau de enxertia foi calculado utilizando como base na integração dos picos de CH_2 , presentes nos meros da cadeia principal de HPAM, e nos grupos CH_3 da PEOPPO, utilizando a Equação (1) (Atta *et al.*, 2011), resultando num valor de 0,9 % de enxertia. O baixo valor encontrado pode ser explicado devido ao meio reacional ser ácido, o que faz com o que parte das aminas terminais das cadeias da PEOPPO estejam protonadas ($-NH_3^+$) e, assim, não nucleofílicas neste meio. Hidrólise e produção de intermediários inativos frente à reação com o PEOPPO também contribuem para a baixa enxertia (D'este *et al.*, 2014). No entanto, geralmente são necessárias percentagens de enxertia baixas para obter as propriedades desejáveis. Quantidades de enxertos maiores podem levar à precipitação dos copolímeros, enquanto quantidades de enxertos muito baixos não alteram efetivamente as propriedades do material.

A Figura 2 mostra as curvas de viscosidade em função da temperatura para o copolímero HPAM-*g*-PEOPPO, em solução aquosa de K_2CO_3 $1,25 \text{ mol.L}^{-1}$, a uma concentração polimérica de $1,5 \text{ g.L}^{-1}$. O copolímero apresentou comportamento pseudoplástico, que é a diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, devido ao alinhamento das cadeias na direção do fluxo.

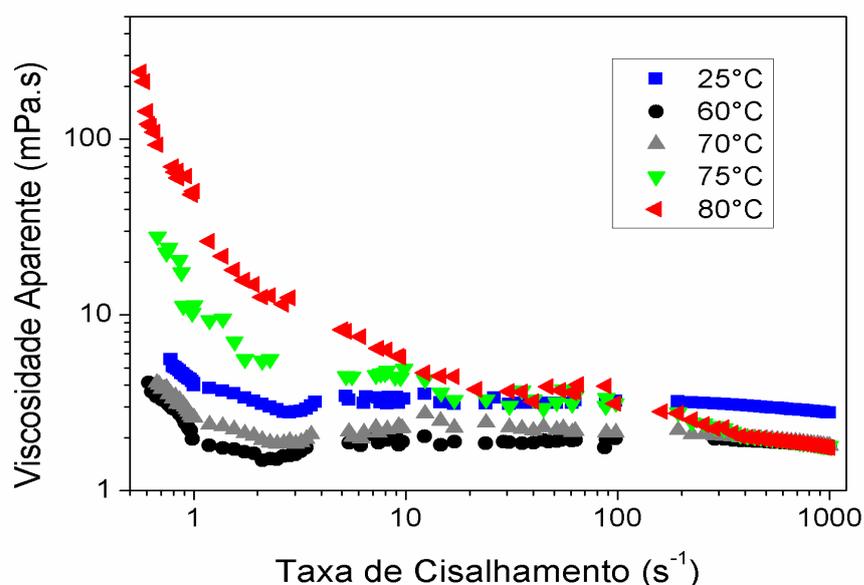


Figura 2: Curvas de viscosidade em função da taxa de cisalhamento para HPAM-g-PEOPPO, com concentração de polímero de $1,5 \text{ g.L}^{-1}$, em solução aquosa de K_2CO_3 $1,25 \text{ mol.L}^{-1}$, a 25, 60, 70, 75 e 80 °C

Com o aumento na temperatura de 25 para 60 °C, houve uma diminuição viscosidade do meio, em função do aumento na mobilidade das cadeias. Entretanto, quando a temperatura foi elevada para 70, 75 e 80 °C, a viscosidade começou gradativamente a aumentar com o aumento na temperatura, em função das associações intermoleculares hidrofóbicas entre as cadeias de PEOPPO. Essas associações são desfeitas com o aumento na taxa de cisalhamento. O comportamento apresentado pelo copolímero é interessante em processos de recuperação aumentada de petróleo, pois a solução idealmente deve apresentar baixa viscosidade durante a injeção na rocha reservatório, onde altas taxas de cisalhamento são aplicadas (facilidade de injeção) e elevadas viscosidades no interior do reservatório (baixo cisalhamento) para que aconteça um deslocamento efetivo do óleo para o poço produtor (Li *et al.*, 2017).

4 | CONCLUSÕES

A reação de enxertia foi comprovada pelos espectros de RMN ^1H , devido à mudança de deslocamento químico das metilas da cadeia de PEOPPO e ao alargamento dos sinais referentes à HPAM. Quando a temperatura foi maior ou igual a 70 °C, o copolímero apresentou comportamento termoviscosificante na presença de sal. Assim, as associações entre os enxertos de PEOPPO tornam esse material um excelente candidato em processos de recuperação aumentada de petróleo em soluções salinas de força iônica próxima a $3,75 \text{ mol.L}^{-1}$.

5 | AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

ATTA, A. A.; AL-SHAIFY, H. I.; MOHAMED, Z. M. Application of hydrophobically modified water-soluble polyacrylamide conjugated with poly(oxyethylene)-co-poly(oxypropylene) surfactant as emulsifier. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 22, n. 12, p. 1879-1887, 2011. ISSN 10427147 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-82155201864&doi=10.1002/pat.1687&partnerID=40&md5=43ca7e90b76b094a755288cafe4e9ff5> >.

D'ESTE, M.; EGLIN, D.; ALINI, M. A systematic analysis of DMTMM vs EDC/NHS for ligation of amines to Hyaluronan in water. **Carbohydrate Polymers**, v. 108, n. 1, p. 239-246, 2014. ISSN 01448617 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84899443533&doi=10.1016/j.carbpol.2014.02.070&partnerID=40&md5=9ceabf149b419ebb8d8814e9f14cfd4f> >.

DE LIMA, B. L. B. et al. HPAM-g-PEOPPO: Rheological modifiers in aqueous media of high temperature and high ionic strength. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 18, 2019. ISSN 00218995 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059701873&doi=10.1002/app.47453&partnerID=40&md5=1ba0406c3ce9d1b1e8cbcd42914127ef> >.

DE VOS, S. et al. Synthesis and characterization of poly(acrylamide)-graft-poly(ethylene oxide-co-propylene oxide). **Polymer**, v. 35, n. 12, p. 2644-2650, 1994. ISSN 00323861 (ISSN). Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0006285293&partnerID=40&md5=89a1731cee3e7077b1b6d9a778e3d09e> >.

GIAP, S. G. E. **The Hidden Property of Arrhenius-type Relationship: Viscosity as a Function of Temperature**. *Journal of Physical Science*. 21: 29-39 p. 2010.

GUPTA, N. R. et al. Synthesis and characterization of PEPO grafted carboxymethyl guar and carboxymethyl tamarind as new thermo-associating polymers. **Carbohydrate Polymers**, v. 117, p. 331-338, 2015. ISSN 01448617 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84908409772&partnerID=40&md5=9b7808453e869b91c44f571189444a96> >.

HOURDET, D.; L'ALLORET, F.; AUDEBERT, R. Synthesis of thermoassociative copolymers. **Polymer**, v. 38, n. 10, p. 2535-2547, 1997. ISSN 00323861 (ISSN). Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0031143301&partnerID=40&md5=115ca75ff77b8c90fb401a6d81f81cf7> >.

IKEGAMI, A.; IMAI, N. Precipitation of polyelectrolytes by salts. **Journal of Polymer Science**, v. 56, n. 163, p. 133-152, 1962. ISSN 1542-6238. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/pol.1962.1205616312> >.

KARAKASYAN, C. et al. Synthesis and rheological properties of responsive thickeners based on polysaccharide architectures. **Biomacromolecules**, v. 9, n. 9, p. 2419-2429, 2008. ISSN 15257797 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-52649118133&doi=10.1021/bm800393s&partnerID=40&md5=5a01949661efc9ab5dab86ade3edeb43> >.

LI, X. et al. Comparative Studies on Enhanced Oil Recovery: Thermoviscosifying Polymer Versus Polyacrylamide. **Energy and Fuels**, v. 31, n. 3, p. 2479-2487, 2017. ISSN 08870624 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016938395&doi=10.1021/acs.energyfuels.6b02653&partnerID=40&md5=5778b151c9114871d0edab5c6a0e7da0> >.

MARQUES, N. D. N. et al. Synthesis and characterization of carboxymethylcellulose grafted with thermoresponsive side chains of high LCST: The high temperature and high salinity self-assembly dependence. **Carbohydrate Polymers**, v. 184, p. 108-117, 2018. ISSN 01448617 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85039155297&doi=10.1016/j.carbpol.2017.12.053&partnerID=40&md5=f42426d11b9281a4e48bf57af20edf6f> >.

MOJARRADI, H. **Coupling of substances containing a primary amine to hyaluronan via carbodiimide-mediated amidation**. 2010. 44 Student thesis (11002). UPTEC K,

TAYLOR, K. C.; NASR-EL-DIN, H. A. Water-soluble hydrophobically associating polymers for improved oil recovery: A literature review. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 19, n. 3-4, p. 265-280, 1998. ISSN 09204105 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0032021517&partnerID=40&md5=356793d12bd0094028b4b99ba4882ddc> >.

SOBRE A ORGANIZADORA

Carmen Lúcia Voigt: Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-422-1

