



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
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. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P964 A produção do conhecimento na engenharia química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-976-9

DOI 10.22533/at.ed.769203001

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia.

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

APRESENTAÇÃO

Neste segundo volume, sobre a Produção do Conhecimento na Engenharia Química, apresentamos diversos trabalhos desenvolvidos com pesquisas relacionadas às áreas de energias renováveis, abordando diferentes biomassas, produção de bioetanol, biodiesel e também utilização de energia solar nos processos.

Com intuito de reduzir os impactos gerados pelos combustíveis fósseis, os trabalhos apresentados mostram, por exemplo, o farelo de arroz como suplemento no meio fermentativo para produção de etanol, obtenção de biodiesel a partir de óleo de mamona comparada ao simulador, estudo da biomassa do capim elefante, energia solar para destilação de etanol, entre outros.

Além disto, este volume trás para você pesquisas voltadas à área de bebidas fermentadas, sendo o foco destes estudos a melhoria dos produtos e dos processos de fabricação. Os trabalhos abordam, entre outras coisas, efeitos de produtos adicionados na fermentação, como trub, e no mosto, como chá verde; avaliação microbiológica e melhoria na produção de cerveja artesanal; bem como desenvolvimento de procedimentos para determinação de metais em cachaça de alambique de cobre.

Também é possível visualizar trabalhos com diferentes tipos de métodos empregados com a finalidade de proporcionar melhores processos produtivos e gerar maiores cuidados com o meio ambiente, relacionados à prevenção e remoção de poluentes. Nestes trabalhos verificam-se métodos de adsorção, secagem, caracterização, separação, assim como simulação computacional de processos.

Portanto, os trabalhos selecionados possibilitam conhecimento de novos materiais, técnicas e processos, como também cuidados com meio ambiente e desenvolvimento tecnológico, expondo a produção de conhecimento na Engenharia Química, de grande importância para ciência e para a sociedade.

Fundamentado nestes trabalhos, que você possa aperfeiçoar seus saberes nesta área.

Bom estudo.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL POR <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> SUPLEMENTADO COM FARELO DE ARROZ	
Mariane Almeida Gonçalves Grazieli Tavares Amoglia Daniel Elvis Basílio da Silva Fernanda Palladino	
DOI 10.22533/at.ed.7692030011	
CAPÍTULO 2	8
ESTUDO COMPARATIVO DA OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE MAMONA EM LABORATÓRIO E NO SIMULADOR DE PROCESSOS QUÍMICOS DWSIM	
Anna Luiza Araújo Baptista Clara de Castro Amaral Marcos Vinicius Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7692030012	
CAPÍTULO 3	16
ESTUDO CINÉTICO DE DIFERENTES CULTIVARES DA BIOMASSA DO CAPIM ELEFANTE (<i>PENNISETUM PURPUREUM</i> SCHUM.)	
Mayara de Oliveira Lessa Renata Martins Braga Emerson Moreira de Aguiar Marcus Antônio de Freitas Melo	
DOI 10.22533/at.ed.7692030013	
CAPÍTULO 4	30
USO DA ENERGIA SOLAR NA DESTILAÇÃO DO ETANOL APLICADO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE COCO	
Lucas Rodrigo Custódio Silva Marina Barbosa Maluf Ribeiro Amanda Dornelas Oliveira Caroline Santos Silva Érica Victor de Faria Kássia Graciele dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7692030014	
CAPÍTULO 5	44
AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE CARVÃO ATIVADO	
Ana Cláudia Rodrigues De Barros Riann de Queiroz Nóbrega Lorena Lucena De Medeiros Flávio Luiz Honorato Da Silva Joelma Moraes Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.7692030015	
CAPÍTULO 6	54
AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE CERVEJA TIPO PILSEN ADICIONADA DE CHÁ VERDE NA ETAPA DE FERVURA DO MOSTO	
Natália Pinto Guedes de Moraes Thaís Cardozo Almeida	

João Vitor Cabral Gonçalves
Luana Tashima
Ligia Marcondes Rodrigues dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.7692030017

CAPÍTULO 7 63

PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL COM ADIÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE FRUTO AMAZÔNICO

Catherinne Édi Muniz Pimentel
Igor Lins Santiago
Syra Kelly Murabac Silva Oliveira
Ricardo Lima Serudo

DOI 10.22533/at.ed.7692030018

CAPÍTULO 8 71

DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTO DETERMINATIVO PARA ANÁLISE QUANTITATIVA DE NÍQUEL EM CACHAÇAS DE ALAMBIQUE DE COBRE EMPREGANDO ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Alexandre Mendes Muchon
Karina Moraes Lima
Alex Magalhães de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.7692030019

CAPÍTULO 9 77

PRODUÇÃO DE LIPASES POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO: UMA ANÁLISE PRELIMINAR DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Enylson Xavier Ramalho
Pedro Henrique Barbosa Fernandes
Cristian Orlando Avila
Rodrigo Silva Dutra
Lina María Grajales

DOI 10.22533/at.ed.76920300110

CAPÍTULO 10 85

SECAGEM DOS FRUTOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA* (RICH.) DC) EM DIFERENTES LEITOS

Letícia Bahia Vieira
Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Juliana Ferreira Costa
Lidiane Diniz do Nascimento
Elisangela Lima Andrade
Lorena Gomes Corumbá
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300111

CAPÍTULO 11 97

COMPORTAMENTO COLORIMÉTRICO DE EXTRATOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA*)

Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Letícia Bahia Vieira
Paulo César Souza de Moraes Júnior
Wandson Braamcamp de Souza Pinheiro

Samara de Paula Pinheiro Menezes Marques
Hellen Carvalho Barros
Davi do Socorro Barros Brasil
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300112

CAPÍTULO 12 108

HIDROCARBONIZAÇÃO DE EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

Larissa Yukie Pianho
Fernanda Carla Camilo Lima
Thiago Peixoto de Araújo
Maria Angélica Simões Dornellas de Barros

DOI 10.22533/at.ed.76920300113

CAPÍTULO 13 115

MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES TEXTURAIS DA PENEIRA MOLECULAR DO TIPO MCM-41 POR DEPOSIÇÃO DE CARBONO

Diogo Pimentel de Sá da Silva
Raul César da Silva Nascimento
Ivo da Silva
Julyane da Rocha Santos
Antonio Osimar Sousa da Silva

DOI 10.22533/at.ed.76920300114

CAPÍTULO 14 123

ESTUDO COM TROCADORES DE ÍONS PARA A DETERMINAÇÃO DE FERRO DISPONÍVEL PARA PLANTAS EM SOLOS DA REGIÃO DE FORMIGA-MG

Luana Cristina Camargos Gomes
Alex Magalhães de Almeida
Anísio Cláudio Rios Fonseca
Alexandre Mendes Muchon

DOI 10.22533/at.ed.76920300115

CAPÍTULO 15 128

AValiação PRELIMINAR DA TROCA TÉRMICA EM UNIDADE PILOTO DE UM SISTEMA COILED TUBING

Lorena Rodrigues Justino
Caroline Eulino Gonçalves Pereira
Beatriz Rosas Oliveira
Eduardo Cunha Hora Paraíso
Luís Américo Calçada
Cláudia Míriam Scheid

DOI 10.22533/at.ed.76920300116

CAPÍTULO 16 136

SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA DE LEITO JORRO RETANGULAR USANDO CFD - COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Ana Paula Silva Artur
Elaine Cristina Batista da Silva
Tuane Tayrine Mendes Cardozo
Welberth Santos Laizo

Aderjane Ferreira Lacerda
Reimar de Oliveira Lourenço

DOI 10.22533/at.ed.76920300117

CAPÍTULO 17 150

SIMULAÇÃO DO CARREGAMENTO DE FERTILIZANTE EM TAMBORES ROTATIVOS COM SUSPENSORES USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

Gabrielle Ferreira Gravena
José Luiz Vieira Neto
Kassia Graciele dos Santos
Beatriz Cristina Silvério

DOI 10.22533/at.ed.76920300118

CAPÍTULO 18 160

SEPARATION OF ACETONA-CHLOROPHORM MAXIMUM BOULATING AZEOTROPE USING METHYL SULPHOXIDE THROUGH PROSIMPLUS SIMULATOR

Guilherme Ferreira da silva
Kerilen Paola Teixeira de Castro

DOI 10.22533/at.ed.76920300119

CAPÍTULO 19 172

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SABONETES LÍQUIDOS E EM BARRA

Vanessa Mendes Santos
Amanda Dias Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.76920300120

CAPÍTULO 20 183

MODELAGEM CINÉTICA DA CLORAÇÃO DO TA_2O_5 COM C_2CL_4

Rogério Navarro Correia de Siqueira
Taiane Zocatelli
Eduardo de Albuquerque Brocchi

DOI 10.22533/at.ed.76920300121

SOBRE A ORGANIZADORA 201

ÍNDICE REMISSIVO 202

MODELAGEM CINÉTICA DA CLORAÇÃO DO Ta_2O_5 COM C_2Cl_4

Data de aceite: 21/01/2020

Rogério Navarro Correia de Siqueira

Departamento de Engenharia Química e Materiais (PUC-Rio). email: rnavarro@puc-rio.br

Taiane Zocatelli

Departamento de Engenharia Química e Materiais (PUC-Rio)

Eduardo de Albuquerque Brocchi

Departamento de Engenharia Química e Materiais (PUC-Rio)

RESUMO: Processos de ustulação cloretante podem ser realizados de forma direta, utilizando o Cl_2 como agente cloretante, ou através de agentes cloretantes alternativos. Neste contexto, compostos organoclorados são promissores, pois além de serem facilmente volatizados, já apresentam na mesma molécula o agente cloretante e redutor. O presente estudo teve como principal objetivo a avaliação quantitativa da cinética de cloração do pentóxido de tântalo com tetracloroetileno através dos modelos do núcleo não reagido (SC) e auto catalítico (AC). Tanto o material inicial, quanto o mesmo após o processo, bem como o produto sólido depositado na saída do reator foram caracterizados via DRX e MEV/EDS. Através de simulações termodinâmicas

foi possível verificar a viabilidade de cloração de amostras puras de Ta_2O_5 com C_2Cl_4 diluído em atmosfera de N_2 na faixa de temperatura entre 800 a 950°C, sendo os principais cloretos gasosos formados, $TaOCl_3$ e $TaCl_5$, em concordância com os dados experimentais. No que diz respeito à modelagem cinética ambos os modelos permitiram o ajuste dos dados em nível quantitativo, sendo os valores de energia de ativação global iguais a 93,8 kJ/mol (SC) e 32 kJ/mol (AC). A comparação dos valores obtidos com dados da literatura sugere que o controle é de natureza química, sendo a decomposição do C_2Cl_4 na superfície das nanopartículas de Ta_2O_5 , possivelmente, a etapa controladora.

PALAVRAS-CHAVE: C_2Cl_4 , Ta_2O_5 , Modelagem Cinética.

ABSTRACT: Chlorination roasting processes can be carried out directly, using Cl_2 as a chlorinating agent, or through alternative chlorinating agents. In this context, organochlorine compounds are promising, since besides being easily volatilized, they already present in the same molecule the chlorinating and reducing agent. The present study had as main objective the quantitative evaluation of the chlorination kinetics of tantalum pentoxide with tetrachlorethylene through the shrinking core (SC) and auto catalytic (CA) models. Both the initial material and the post-process material as

well as the solid product deposited at the exit of the reactor were characterized via DRX and MEV/EDS. By means of thermodynamic simulations, it was possible to verify the viability of chlorination of pure samples of Ta_2O_5 with C_2Cl_4 diluted in N_2 atmosphere in the temperature range between 800 and 950°C, the main gaseous chlorides being formed, $TaOCl_3$ and $TaCl_5$, in accordance with experimental data. With regard to kinetic modeling, both models allowed quantitative representation of the experimental data, with the overall activation energy being 93.8 kJ/mol (SC) and 32 kJ/mol (AC), suggesting that the control is of a chemical nature, with the decomposition of C_2Cl_4 on the surface of the Ta_2O_5 nanoparticles, possibly the control stage.

KEYWORDS: C_2Cl_4 , Ta_2O_5 , Kinetic Modeling.

1 | INTRODUÇÃO

Processos de ustulação cloretante têm chamado atenção de forma crescente da comunidade científica, pois consistem em possíveis rotas que permitem a extração de metais valiosos de matérias-primas de natureza oxidada, tais como, rejeitos do beneficiamento mineral [1], escórias [2] e concentrados minerais [3]. Nesses processos, um agente portador de cloro (ex. Cl_2) reage com cristais dos óxidos de interesse, formando-se preferencialmente cloretos voláteis, que podem então ser fisicamente separados. Convém comentar, que metais de elevado valor tecnológico, tais como o Ti e Zr, já são produzidos em escala industrial via cloração a partir do tratamento de concentrados de $FeTiO_3$ e ZrO_2 [4]. Nesses processos, é fundamental que o óxido apresente uma granulometria “fina”, em geral inferior a 150 Mesh (ver em micros), além da presença de um agente redutor (ex. coque), que é responsável por conferir significativa força motriz às reações de cloração de interesse [5].

Com o passar do tempo, outros agentes cloretantes, menos agressivos quando comparados ao Cl_2 , começaram a ser investigados. Neste contexto, convém destacar os agentes organoclorados, tais como o CCl_4 e o C_2Cl_4 . Tratam-se de moléculas facilmente volatilizáveis, o que é benéfico do ponto de vista cinético por favorecer o contato entre os óxidos e o meio reacional. Adicionalmente, já incorporam na mesma molécula o agente cloretante e o agente redutor (carbono), este último, conforme já mencionado anteriormente, favorece termodinamicamente e cineticamente o processo. No que se refere ao CCl_4 , alguns trabalhos científicos já se encontram na literatura, a maioria relacionada à cloração de óxidos, por exemplo, MoO_3 [6], Ta_2O_5 [7], Al_2O_3 [8]. No que se refere ao C_2Cl_4 , no entanto, há poucos trabalhos publicados, constando, até o presente momento, somente duas investigações, uma relacionada à cloração do Al_2O_3 [9], e o outro relacionado a um estudo termodinâmico-experimental da cloração de óxidos de cobre e níquel [10]. O conhecimento acumulado até então sugere que tanto o CCl_4 quanto o C_2Cl_4 apresentam forte potencial cloretante, inclusive em atmosferas diluídas. Adicionalmente, dois modelos cinéticos têm apresentado destaque, o primeiro denominado modelo do núcleo não reagido (SC) e o segundo denominado modelo

autocatalítico (AC), representados, respectivamente pelas equações (1) e (2). Ambos os modelos apresentam como premissa, a consideração de que é a reação química com o óxido a etapa controladora/limitante do processo [11].

$$1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{f}} = k \cdot t \cdot P_{C_2Cl_4}^n \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) = k \cdot t \cdot P_{C_2Cl_4}^n \quad (2)$$

Onde α representa a conversão alcançada em um dado tempo (t), k a constante cinética do processo, n a ordem global, e f o fator de forma, sendo igual a dois para partículas cilíndricas e três para partículas esféricas.

O presente trabalho tem como objetivo inicial realizar uma apreciação termodinâmica da cloração do pentóxido de tântalo com C_2Cl_4 diluído em N_2 . Em um segundo momento, as previsões termodinâmicas são testadas mediante ensaios de cloração em um reator tubular, cujos dados de conversão são então comparativamente descritos através dos modelos representados pelas equações (1, SC) e (2, AC).

Amostras selecionadas foram caracterizadas via microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-X (DRX), no sentido de contribuir para um maior entendimento da matéria-prima clorada, bem como do processo em si, que envolve a formação de cloretos essencialmente voláteis, além da possível decomposição térmica do agente cloretante.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A linha experimental utilizada para os ensaios de cloração apresentava-se constituída de um banho termoestatizado, que permite o controle da temperatura de volatilização do C_2Cl_4 líquido entre -10 e $100^\circ C$, com precisão de um grau, um vaso de borosilicato contendo um volume controlado do agente cloretante líquido, linha de gases para o transporte do N_2 comercial utilizado tanto para o arraste do C_2Cl_4 para o interior do reator, quanto purga da atmosfera reacional entre uma pesagem e outra, um forno tubular horizontal, e dois kitsatos com soluções e KOH (0,1 M) para o abate dos gases resultantes do processo (C_2Cl_4 não reagido e cloretos voláteis formados). Além desses equipamentos, empregou-se uma balança digital com precisão de 0,005g.

2.1 Materiais

No que se refere aos materiais empregados durante o estudo, tem-se, Ta₂O₅ (PA), fornecido pela empresa SIGMA - ALDRICH, com pureza de 99,5%, C_2Cl_4 líquido (PA) e KOH (PA), fornecidos pela empresa VETEC QUÍMICA FINA LTDA (pureza superior a 95%), e N_2 gasoso comercial, fornecido pela empresa LINDE, com pureza superior a 99%.

2.2 Ensaio de cloração

Amostras contendo 0,3g de pentóxido de tântalo puro foram inseridas em uma barquete de alumina e colocadas no interior do forno tubular com temperatura ajustada eletronicamente no nível de interesse (800 – 950°C), e precisão de $\pm 5^\circ\text{C}$, sendo a temperatura do banho termoeletrificado fixada em $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Após a inserção da barquete, o reator é primeiramente purgado com N_2 (6,15 mL/s) por 20 minutos para garantir que a massa de óxido pudesse atingir um valor constante, sendo a perda de massa de óxido nesta etapa tipicamente da ordem de 0.01g, resultante do arraste pneumático. Após ter-se alcançado uma massa constante (massa de óxido inicial, m_0), o ensaio de cloração era então iniciado, borbulhando-se N_2 no banho de C_2Cl_4 , sendo a mistura arrastada para o interior do forno com uma vazão total de 6,62 mL/s. As medidas de perda de massa foram realizadas em intervalos de cinco minutos, onde o material remanescente na barquete é pesado sequencialmente, para um tempo total de ensaio de quarenta minutos. A conversão de Ta_2O_5 pode ser calculada pela massa antes e após a cloração, de acordo com a Eq (3), onde m representa a massa de óxido em um instante qualquer, e m_0 a massa inicial da amostra, determinada após o arraste com N_2 .

$$\alpha = 100. \left(\frac{m_0 - m(t)}{m_0} \right) \quad (3)$$

No presente caso, a referida equação pode ser utilizada, pois, de acordo com a avaliação termodinâmica (tópico 3.1), é prevista a formação exclusiva de cloretos voláteis (TaOCl_3 e/ou TaCl_5), ou seja, sem acúmulo de massa sobre a barquete devido a produtos reacionais condensados. Assim, toda variação da massa pode ser diretamente relacionada com a cloração do óxido de interesse.

Os dados cinéticos obtidos foram em seguida ajustados de acordo com o modelo do núcleo não reagido (Eq. 1) e modelo auto catalítico (Eq. 2). Ao todo foram realizadas três medidas em cada tempo reacional, calculando-se a média. Os valores médios resultantes foram em seguida utilizados na alimentação dos mencionados modelos cinéticos.

2.3 Métodos de caracterização

A caracterização das amostras (Ta_2O_5 inicial, Ta_2O_5 remanescente e sólidos precipitados, coletados na saída do tubo reacional) foi levada a efeito via MEV e DRX, a primeira técnica voltada ao estudo morfológico e químico (análise química elementar via EDS), enquanto a segunda visando à determinação, via método de Rietveld com parâmetros fundamentais, das fases presentes, bem como de suas frações mássicas associadas. Os experimentos de DRX foram conduzidos em um difratômetro Bruker, com tubo de Cu (40kV), monocromador de Si e detector de área modelo Lynxeye visando à determinação do tamanho médio de cristalito, bem como as frações mássicas

das fases presentes. Para a quantificação das fases foi utilizado o software TOPAS-pro versão 4.2, que utiliza o método de Rietveld com parâmetros fundamentais. As análises de MEV foram realizadas em um equipamento Jeol JSM – 6510LV, que trabalha com tensão máxima de aceleração de 30kV, elétrons retroespalhados, e possui detector de Raios-X característico (EDS) - Thermoscientific Noran 7 (estado sólido).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação termodinâmica

O potencial cloretante do C_2Cl_4 foi comprovado mediante a realização de simulações empregando-se o software Thermocalc com a base de dados SSUB 3 [12]. Para a realização dos cálculos, a fase gasosa foi considerada como ideal e o óxido Ta_2O_5 estequiométrico. Em todos os casos a temperatura foi considerada fixa, variando-se a proporção entre C_2Cl_4 e N_2 (gás inerte) na entrada do reator, sendo o número de mols de N_2 alimentado igual a dez em todas as simulações.

Previamente ao estudo da cloração, investigou-se a possível decomposição térmica do agente cloretante, variando-se a temperatura entre 300 e 900°C. Os dados sugerem que o C_2Cl_4 deve se decompor na faixa de temperatura considerada, produzindo-se grafite (Figura 1), Cl_2 (Figura 2) e CCl_4 (Figura 3). Dependendo da temperatura imposta, a decomposição pode ser parcial (Eq. 4), formando-se CCl_4 e Cl_2 . O CCl_4 produzido pode também sofrer decomposição térmica produzindo grafite e Cl_2 (Eq. 5). Observa-se que à medida que a temperatura aumenta, a quantidade de grafite se aproxima daquela associada à decomposição completa do agente cloretante (Eq. 6).

Conseqüentemente, o número de mols de grafite formado, por exemplo, para dez mols de C_2Cl_4 ofertado, se aproxima de vinte (Tabela 1), valor este consistente com a estequiometria da reação global (Eq. 6).

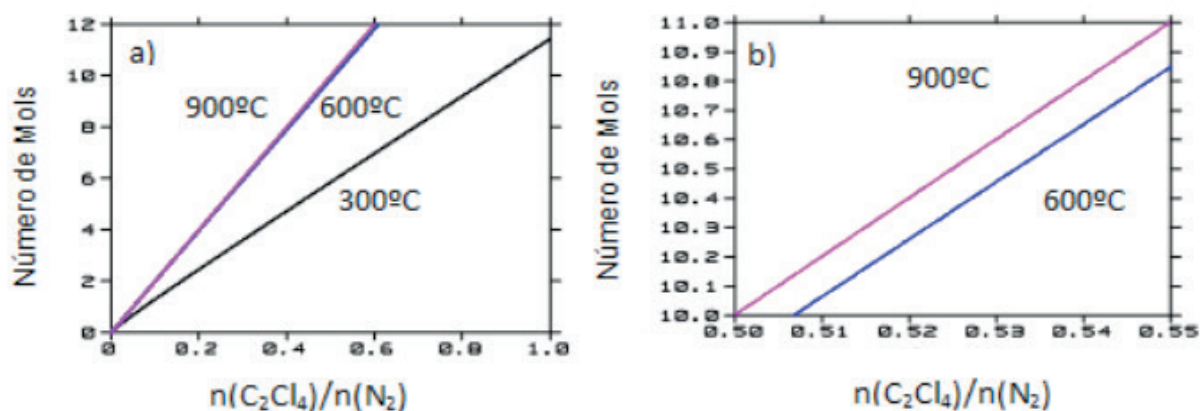


Figura 1. Número de mols de grafite como função da temperatura e concentração inicial de C_2Cl_4 .

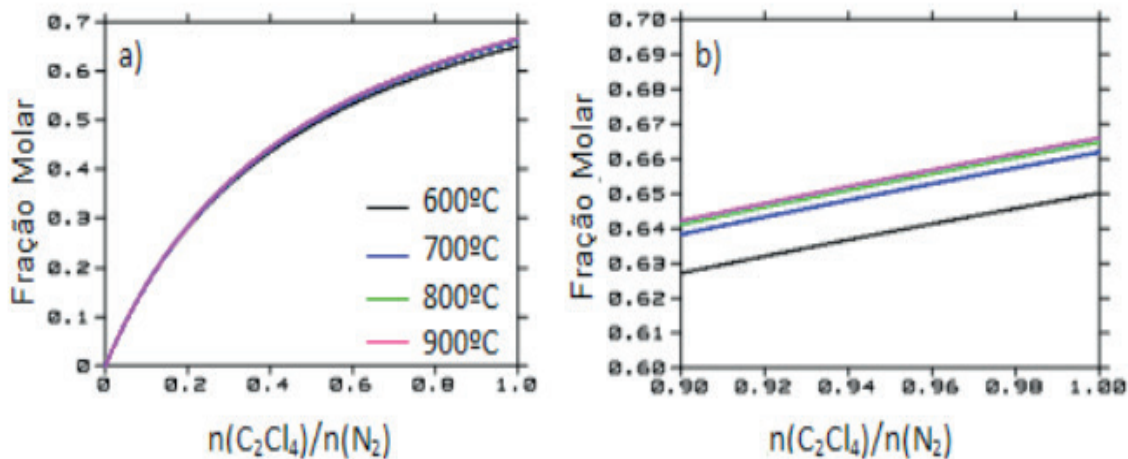
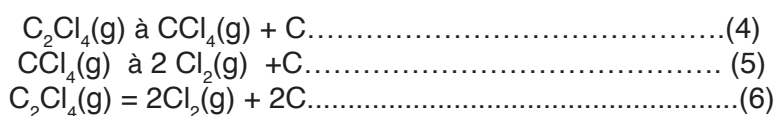


Figura 2. Fração molar de Cl₂ no equilíbrio como função da temperatura e concentração inicial de C₂Cl₄.



Observa-se que para temperaturas iguais ou superiores a 600°C, a quantidade de grafite formada (Figura 1), bem como a fração molar de Cl₂ (Figura 2) apresentam variações pouco expressivas, sugerindo que a decomposição térmica do C₂Cl₄ deve atingir uma conversão de 100%. Consequentemente, a fração molar de CCl₄ se aproxima progressivamente de zero à medida que a temperatura aumenta, conforme sugerido pelos dados contidos na Figura (3).

Temperatura	nc (mols)
300°C	11,4
500°C	18,5
900°C	20,0

Tabela 1. Número de mols de grafite (nc) produzido em diferentes temperaturas – $n(\text{C}_2\text{Cl}_4) = n(\text{N}_2) = 10$.

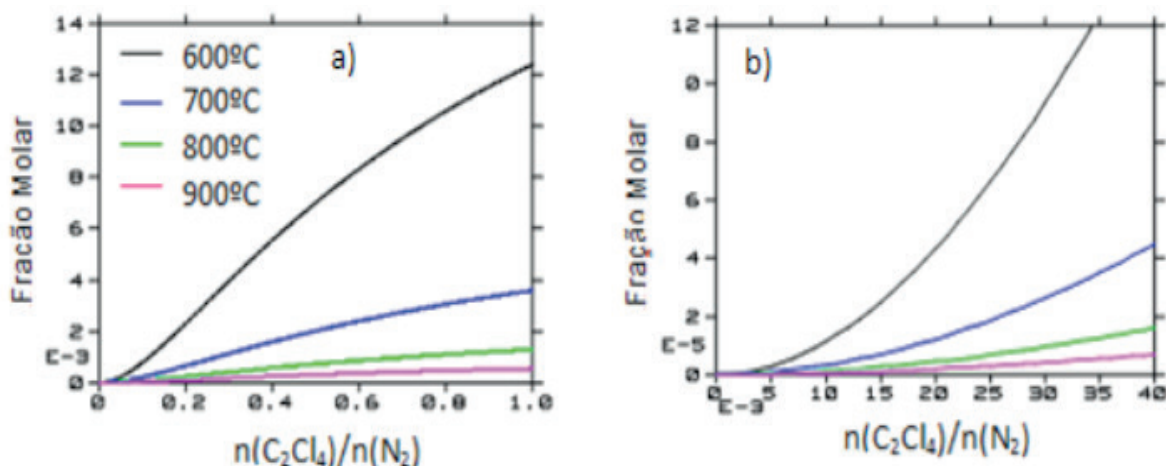


Figura 3. Fração molar de CCl₄ no equilíbrio como função da temperatura e concentração inicial de C₂Cl₄.

No que tange à cloração de dois mols de Ta_2O_5 , observa-se que para temperaturas inferiores a $800^\circ C$ (Figura 4), há a possibilidade de decomposição térmica do excesso de C_2Cl_4 ofertado, em paralelo às reações de cloração, produzindo-se cloretos gasosos ($TaCl_5$, $TaOCl_3$), bem como CO e CO_2 .

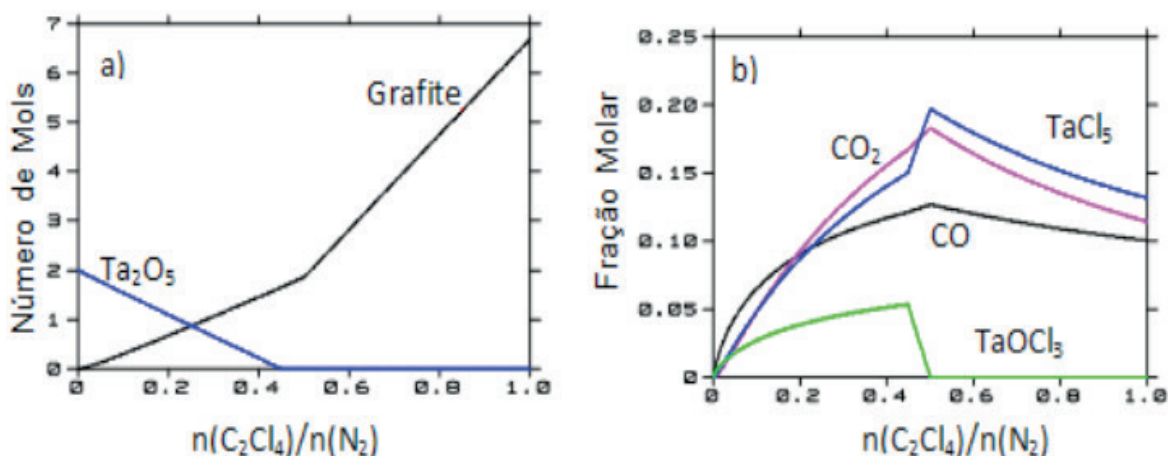


Figura 4. Número de mols de grafite e Ta_2O_5 (a) e composição da fase gasosa (b) no equilíbrio a $600^\circ C$ como função da concentração inicial de C_2Cl_4 .

Para temperaturas superiores a $800^\circ C$ (Figuras 5 e 6), pode-se observar que, em condições diluídas, todo o C_2Cl_4 ofertado deve reagir. A diluição mínima capaz de evitar a formação de grafite é, no entanto, dependente da temperatura.

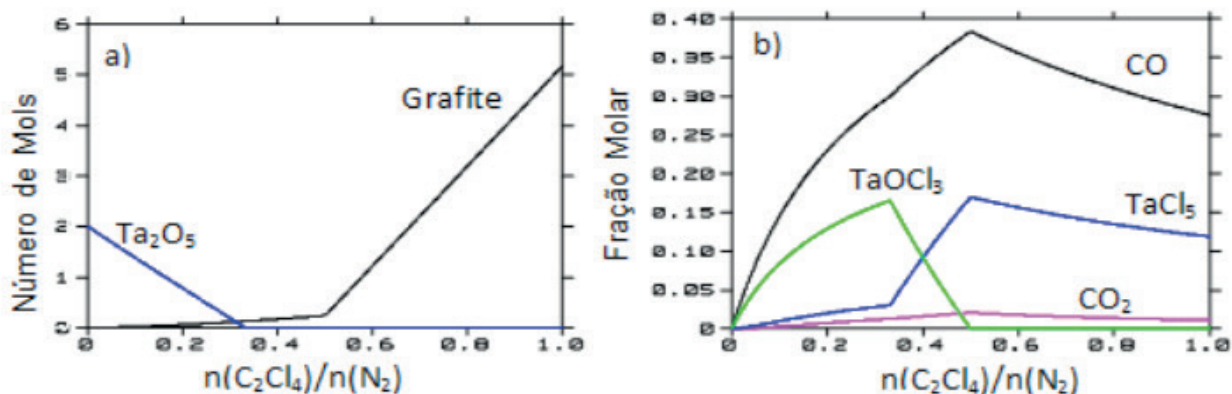


Figura 5. Número de mols de grafite e Ta_2O_5 (a) e composição da fase gasosa (b) no equilíbrio a $800^\circ C$ como função da concentração inicial de C_2Cl_4 .

À medida que a temperatura se eleva, a estabilidade do Ta_2O_5 se torna menor (Figura 6), favorecendo a cloração, e, conseqüentemente, reduzindo o excesso de C_2Cl_4 . A $800^\circ C$, por exemplo (Figura 5), observa-se a formação de grafite somente quando o número de mols de C_2Cl_4 inicial é igual ou superior um, ao passo que a $900^\circ C$, o mesmo ocorre somente para quantidades superiores a cinco mols. Convém comentar, que, se a reação for realizada em um reator de leito fixo, como no caso do presente trabalho, ainda há a chance da decomposição do C_2Cl_4 no caminho entre a

entrada do reator e a amostra, mesmo para temperaturas superiores a 800°C.

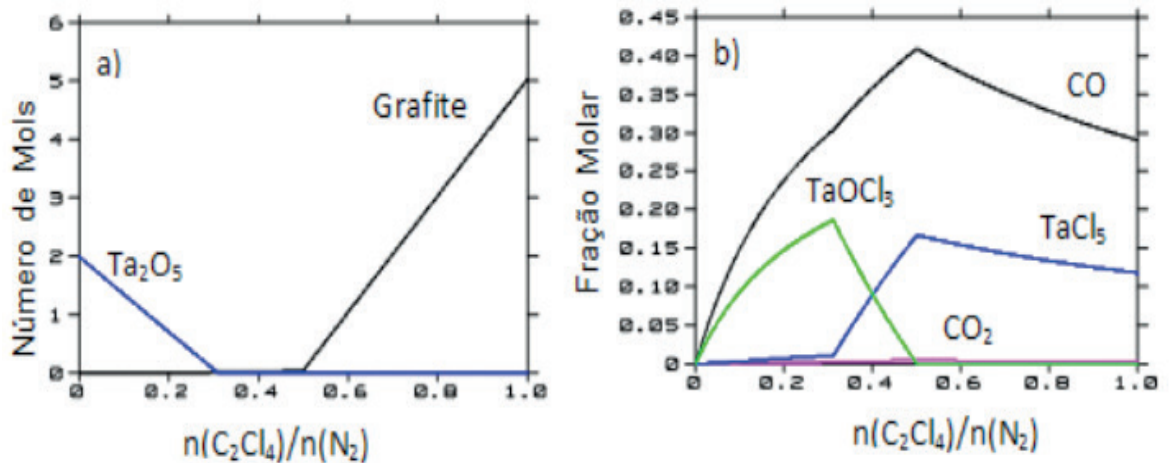


Figura 6. Número de mols de grafite e Ta_2O_5 (a) e composição da fase gasosa (b) no equilíbrio a 900°C como função da concentração inicial de C_2Cl_4 .

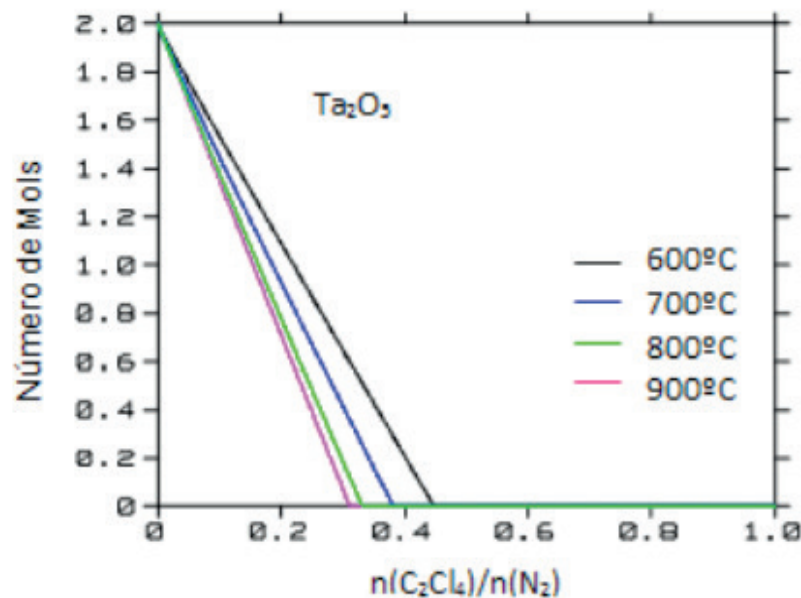


Figura 7. Número de mols de Ta_2O_5 no equilíbrio como função da temperatura e concentração inicial de C_2Cl_4 .

Finalmente, convém observar que em condições diluídas, quantidades expressivas de Ta_2O_5 não reagido se fazem presentes. Tal fato é consequência da simulação considerar o sistema reacional como fechado. A condução do processo em um reator de fluxo contínuo, como o empregado no presente trabalho, permitiria um deslocamento do equilíbrio, favorecendo termodinamicamente as reações de interesse.

3.2 Caracterização

Antes da condução dos testes de cloração (tópico 3.3), realizou-se a caracterização via DRX do óxido inicial (Figura 7). Após a análise de Rietveld, observou-

se a presença exclusiva de Ta_2O_5 em duas formas cristalinas distintas (Tantite 120 - alfa e Tantite O11 - beta), ambas com tamanhos médios de cristalito sugerindo a presença de partículas nanoestruturadas, sendo este igual a 52 nm para a forma alfa e 83 nm para a forma beta.

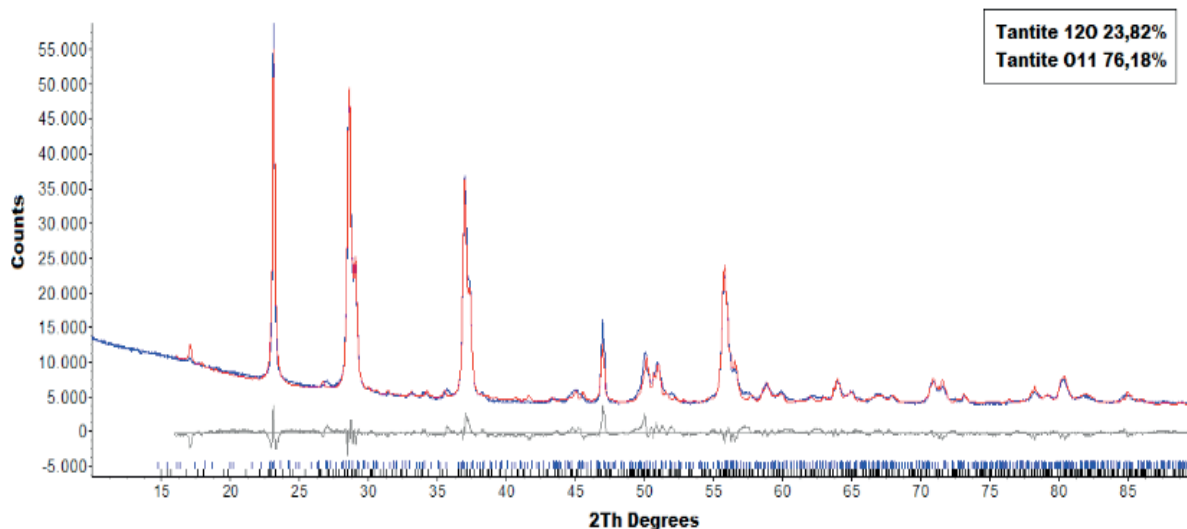


Figura 7. Difratograma característico de uma amostra de Ta₂O₅ como recebida.

Após o processo, de maneira a comprovar a formação exclusiva de cloretos voláteis, uma amostra do óxido clorado a 950°C foi igualmente caracterizada via DRX (Figura 8). Observou-se as mesmas fases presentes inicialmente, porém, com tamanhos médios de cristalito superiores aos encontrados inicialmente, sendo agora igual a 72 nm para a forma alfa e 125 nm para a forma beta. Tal fato sugere a possível sinterização parcial do óxido, fato este comprovado mediante análise via MEV.

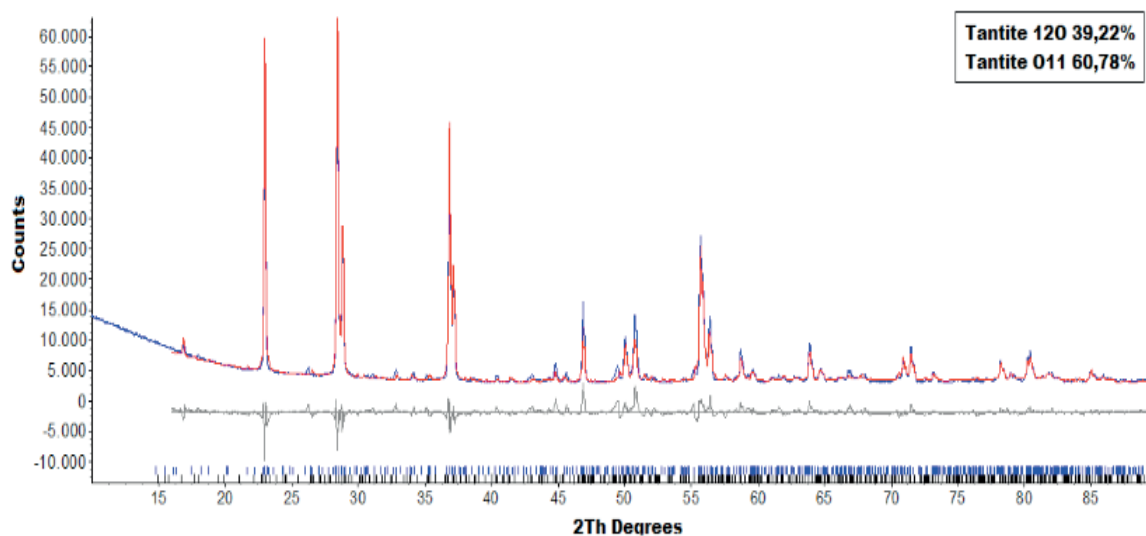


Figura 8. Difratograma de amostra de Ta₂O₅ após cloração com C₂Cl₄ a 950°C.

A imagem obtidas via MEV do óxido remanescente, de fato, sugere uma possível

sinterização das partículas presentes (Figura 9). Adicionalmente, como esperado, a o mapa de EDS da mesma amostra acusou a presença exclusiva de Ta e O, comprovando a não deposição de carbono no espaço em que há contato entre o agente cloretante e o óxido clorado (Figura 10).

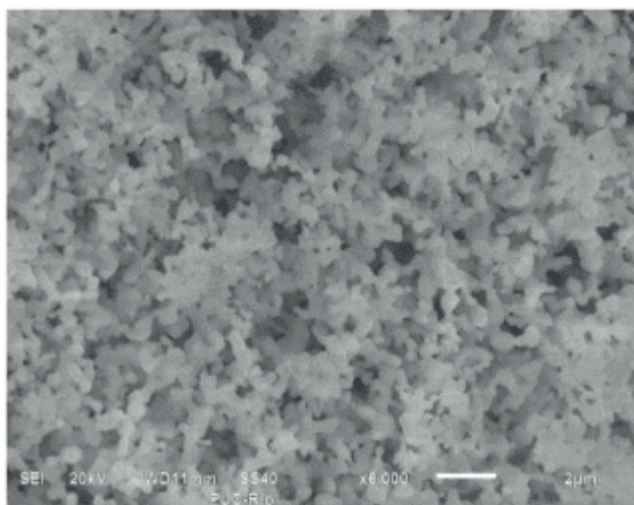


Figura 9. Imagens (MEV) da amostra de Ta_2O_5 após a cloração com C_2Cl_4 a $950^\circ C$.

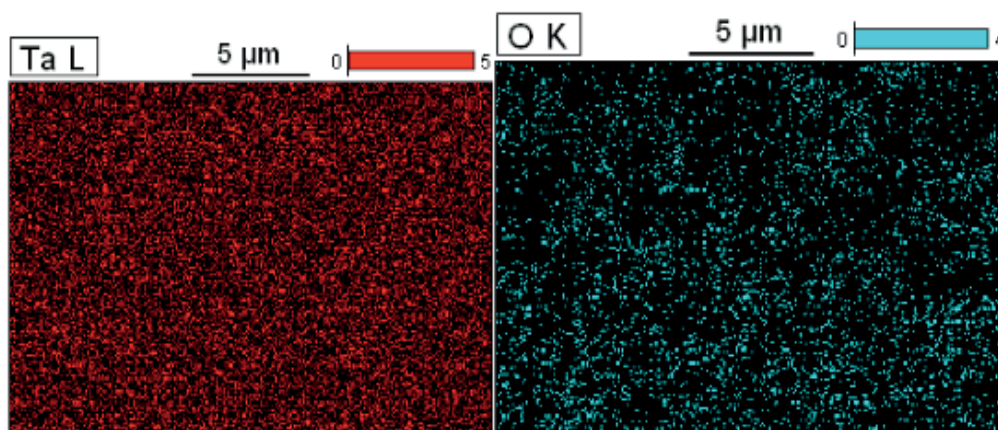


Figura10. Mapa de EDS da amostra de Ta_2O_5 após a cloração com C_2Cl_4 a $950^\circ C$.

Já a caracterização do precipitado coletado na saída do tubo via MEV (Figuras 11 e 12) permitiu a detecção de C, Ta, O e Cl. A presença de carbono pode ser explicada pela precipitação de partículas de grafite formadas pela decomposição do C_2Cl_4 no caminho entre a entrada do reator e a amostra, em concordância com as evidências termodinâmicas (tópico 3.1).

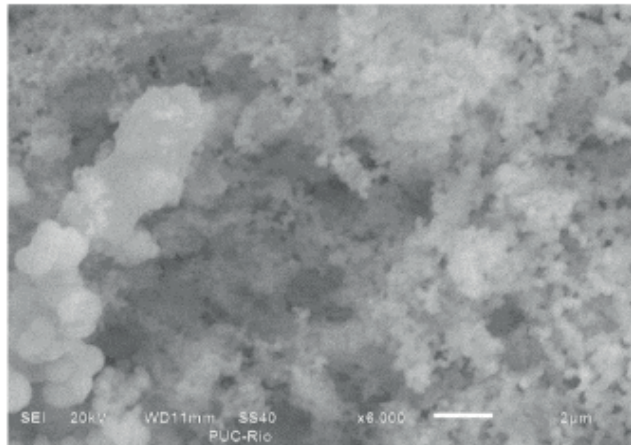


Figura 11. Imagens (MEV) do precipitado coletado da parede do tubo após ensaios de cloração.

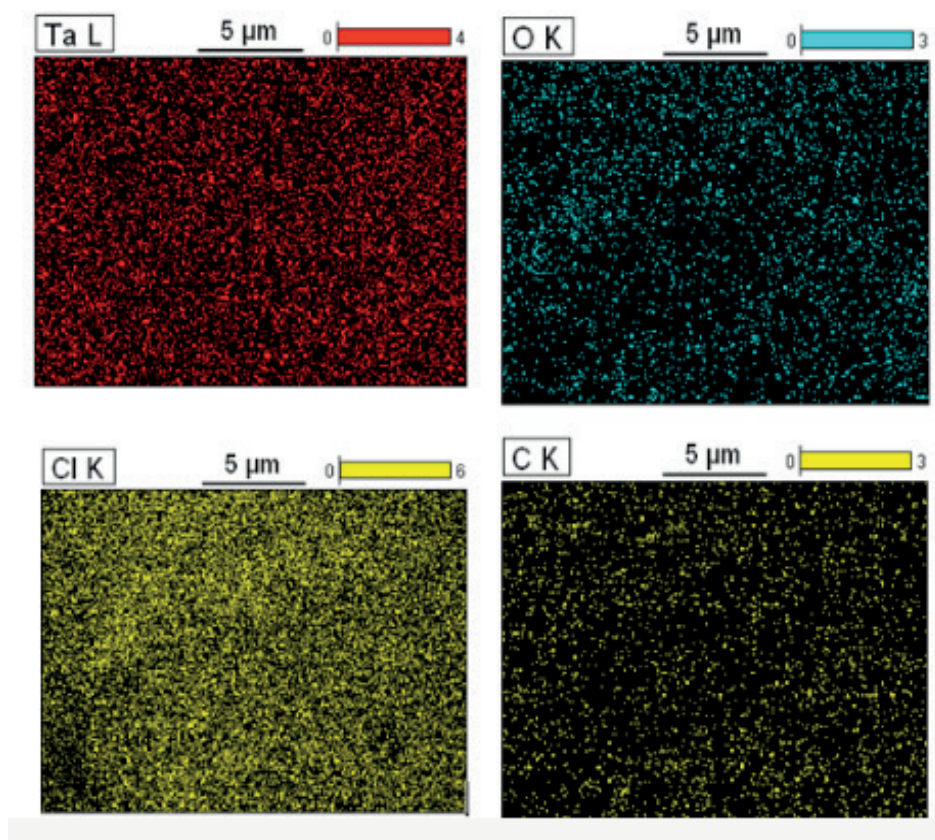


Figura 12. Mapa de EDS do precipitado coletado da parede do tubo após ensaios de cloração.

De fato, uma análise mais cuidadosa da imagem da Figura (11), permite identificar partículas de contraste bastante escuro, possivelmente de grafite. Já a presença de Ta, O e Cl estaria associada à precipitação do TaOCl_3 formado durante a cloração, que, de acordo com as simulações, deve ser um dos principais cloretos formados quando o C_2Cl_4 é admitido em condições diluídas.

3.4 Modelagem cinética

Os dados de conversão de Ta_2O_5 como função do tempo obtidos a 800°C (Figura 13) foram modelados de acordo com os modelos SC (Eq. 1) e AC (Eq. 2). Nesta temperatura, o modelo SC permitiu um ajuste quantitativo de todos os dados. No que

se refere ao modelo AC, o mesmo não foi verificado, uma vez que a conversão média medida em cinco minutos apresentou um valor muito inferior ao valor calculado (Figura 14a e 14b), resultando em um valor de R2 ligeiramente inferior.

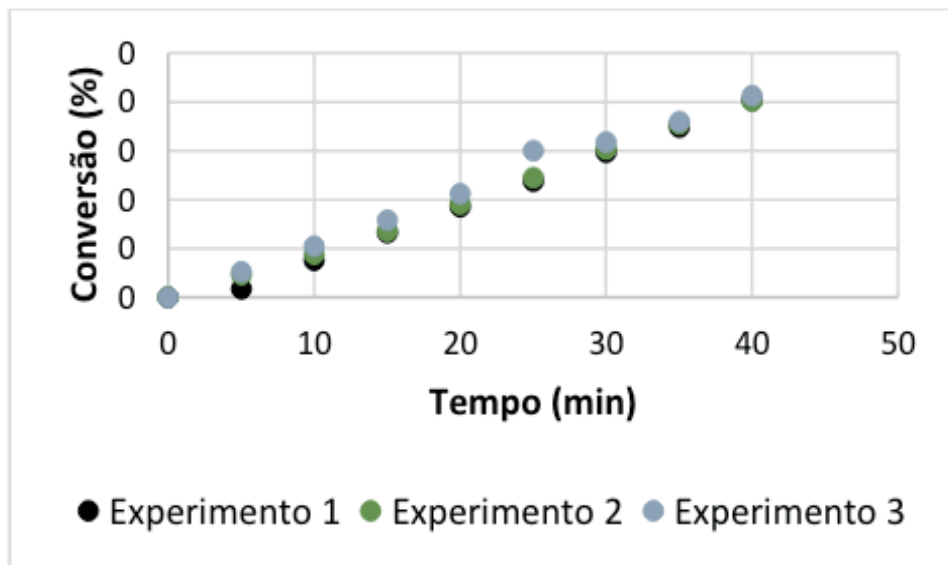


Figura 13. Conversão de Ta_2O_5 como função do tempo a $800^\circ C$.

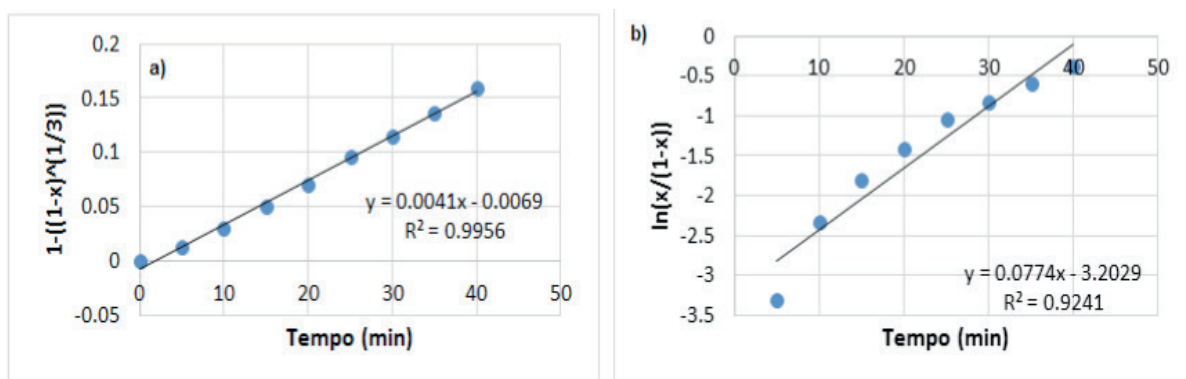


Figura 14. Ajuste com modelo SC com $f = 3$ (a); ajuste com modelo AC (b) – $T = 800^\circ C$.

Os dados de conversão obtidos a $850^\circ C$, foram modelados empregando-se a mesma estratégia (Figura 15). De acordo com os resultados, um comportamento similar se fez presente. Enquanto o modelo SC permite a descrição de todos os dados de conversão medidos, o modelo AC não funciona bem para o cálculo da conversão em cinco minutos (Figura 16a e 16b), o que contribui para a ligeira redução no valor de R2.

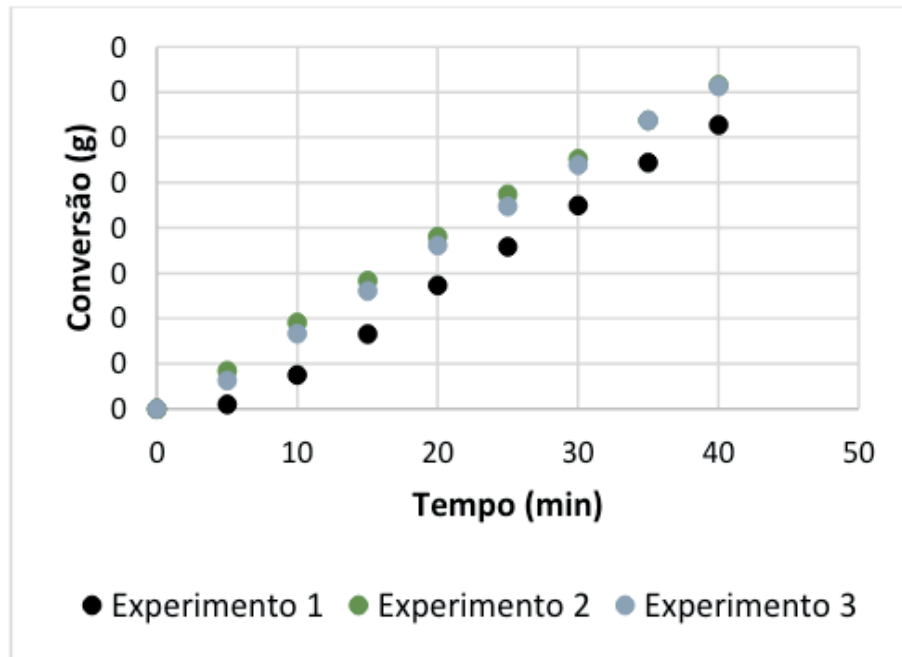


Figura 15. Conversão de Ta₂O₅ como função do tempo a 850°C.

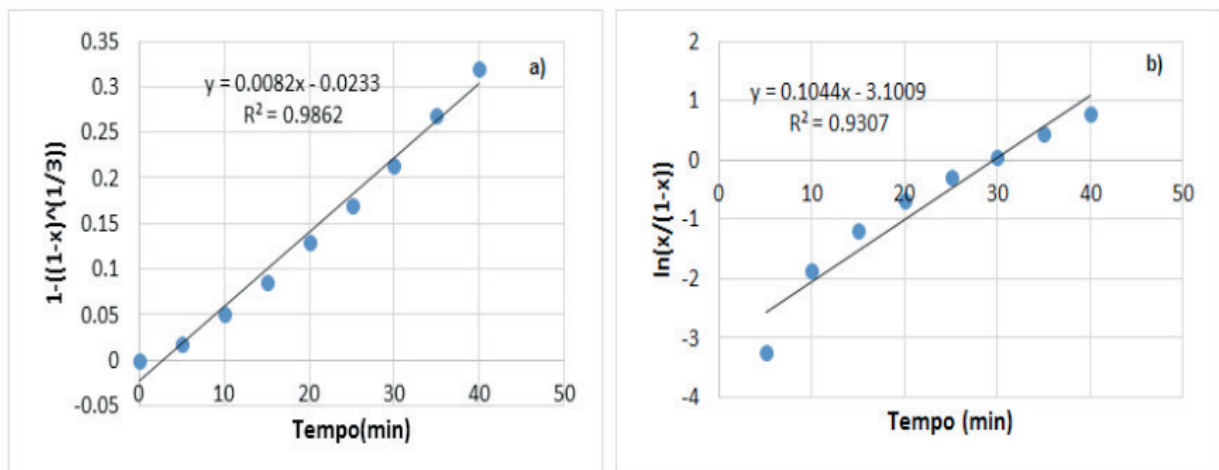


Figura 16. Ajuste com modelo SC com $f = 3$ (a); ajuste com modelo AC (b) – $T = 850^\circ\text{C}$.

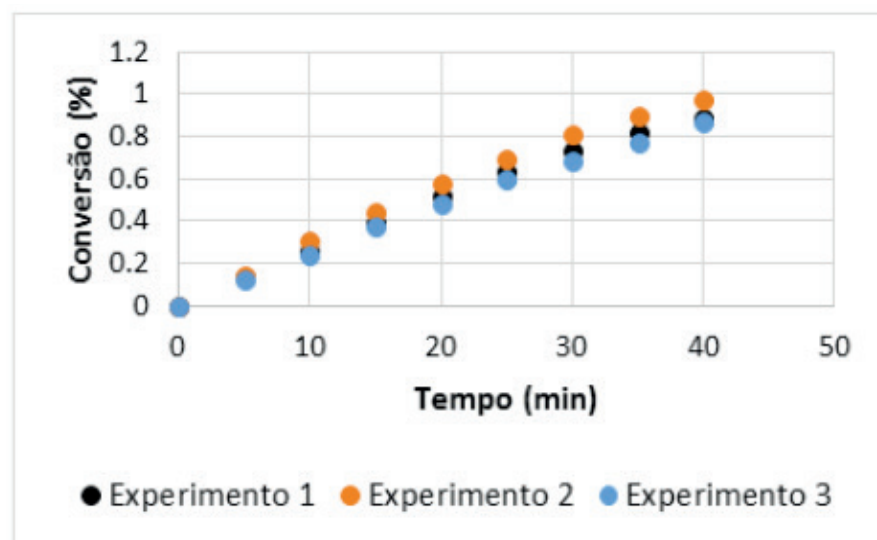


Figura 11. Conversão de Ta₂O₅ como função do tempo a 900°C.

No que tange os dados cinéticos obtidos a 900°C (Figura 17), e, mediante o emprego da mesma estratégia para a análise dos dados, observou-se que, ambos os modelos apresentam um bom desempenho, no entanto, tomando-se por base os valores dos coeficientes de correlação, pode-se afirmar que o modelo AC permite o cálculo de valores de conversão mais próximos dos valores experimentais (Figura 18).

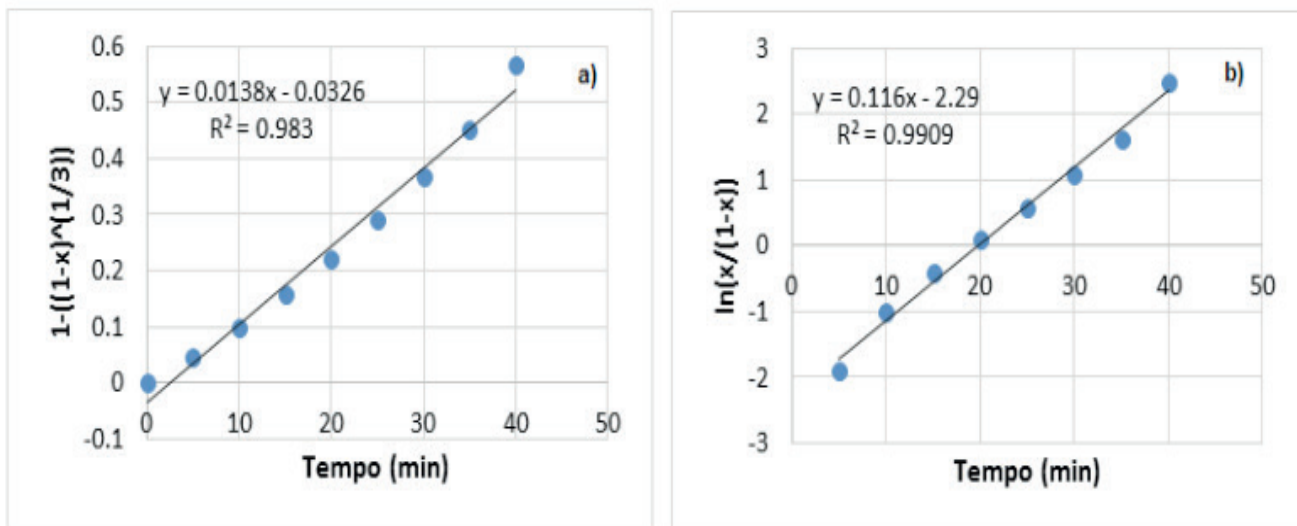


Figura 12. Ajuste com modelo SC com $f = 3$ (a); ajuste com modelo AC (b) – $T = 900^\circ\text{C}$.

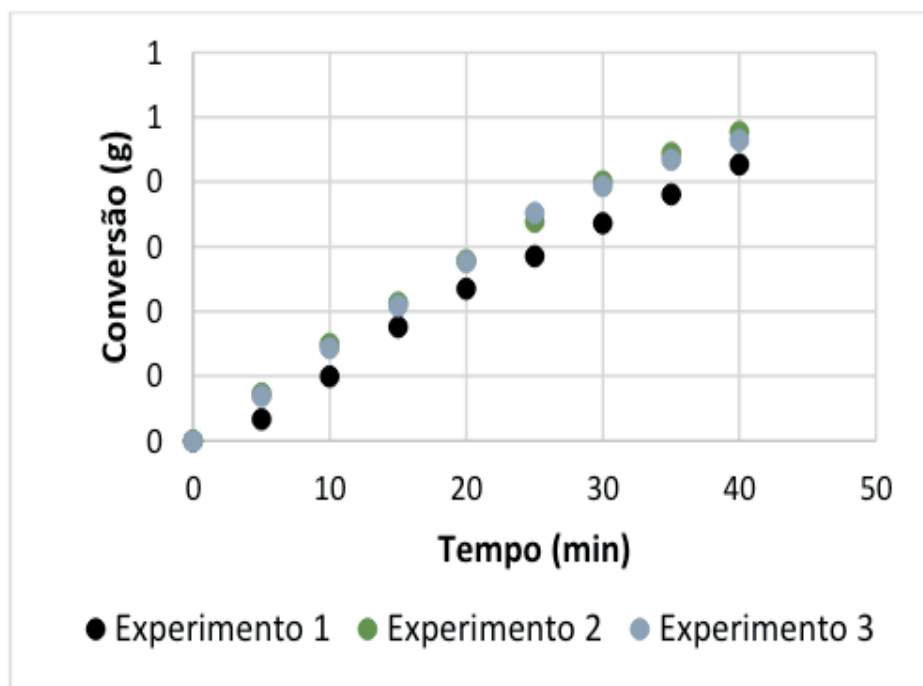


Figura 19. Conversão de Ta_2O_5 como função do tempo a 950°C .

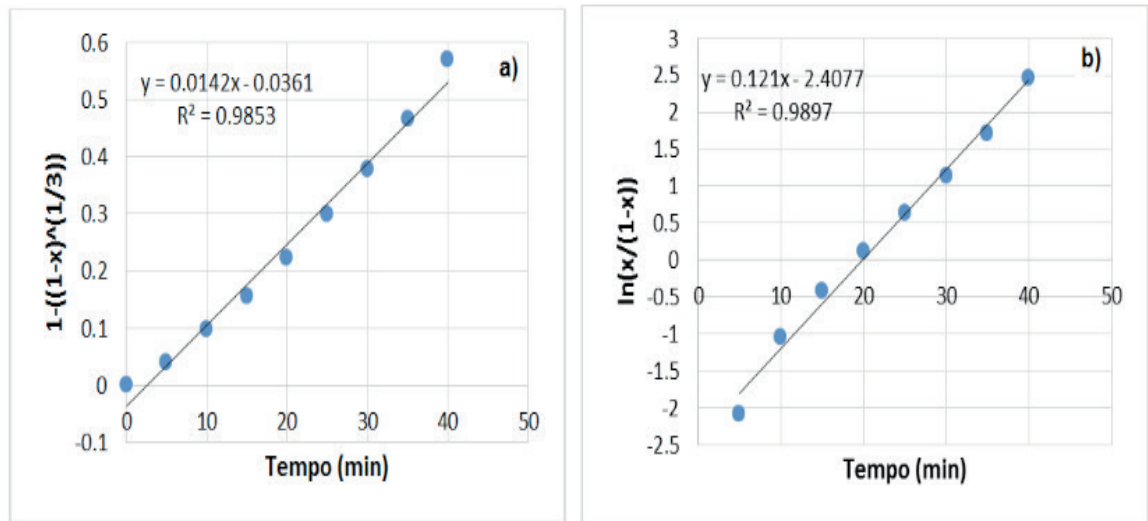


Figura 20. Ajuste com modelo SC com $f = 3$ (a); ajuste com modelo AC (b) – $T = 950^\circ\text{C}$.

Situação análoga se verifica para os dados de conversão medidos a 950°C (Figura 19), onde o modelo AC novamente apresentou desempenho ligeiramente superior, quando comparado ao modelo SC (Figura 20a e 20b). Logo, os presentes resultados sugerem que temperaturas superiores a 900°C , o comportamento cinético poderia ser melhor descrito pelo modelo AC, enquanto que em temperaturas abaixo de 900°C , o comportamento se aproximaria mais daquele descrito pelo modelo SC. Desta forma, em um aglomerado de nanopartículas, partículas de Ta_2O_5 vizinhas a uma partícula central clorada poderiam estar atuando como catalisadoras para o processo de cloração para temperaturas superiores a 900°C .

3.4.1 Energia de ativação global

A energia de ativação global do processo (E) foi determinada a partir das constantes cinéticas determinadas em cada uma das temperaturas, tanto para o modelo AC quanto SC, a qual é determinada a partir do coeficiente angular retas obtidas em cada ajuste (Figuras 14, 16, 18 e 20). Empregando-se a equação de Arrhenius (Eq. 7 e 8), a energia de ativação pode ser determinada (Tabela 2) mediante a avaliação do coeficiente angular da reta associada ao gráfico de $\ln k$ como função de $1/T$ (Figura 21).

$$k = k_o \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (7)$$

$$\ln k = \ln k_o - \left(\frac{E}{R}\right) \cdot 1/T \quad (8)$$

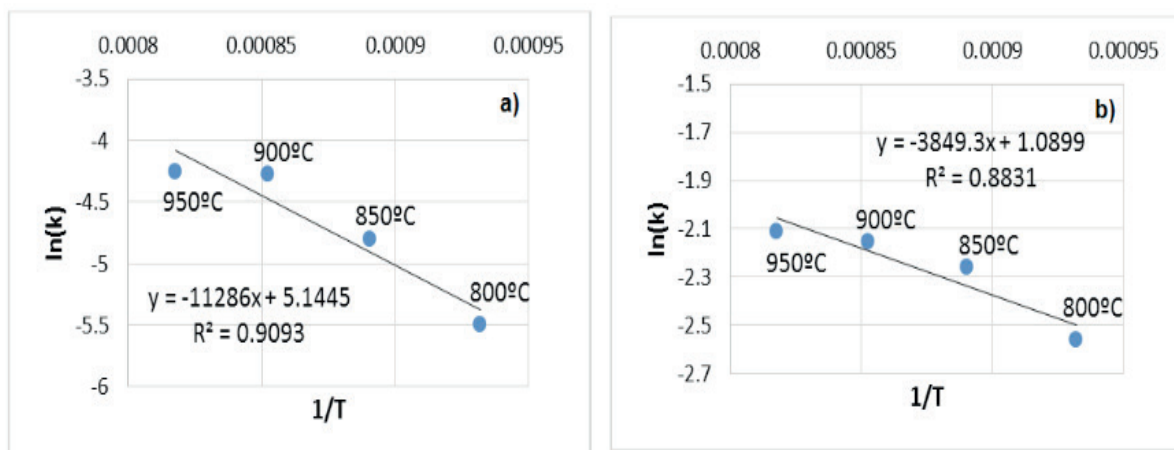


Figura 21. Ln(k) vs. 1/T para os modelos SC (a) e AC (b).

Modelo	E (kJ/mol)
SC	93,8 ± 10
AC	32,0 ± 10

Tabela 2. Energia de ativação global calculada para cada modelo cinético considerado.

Convém comentar que, conforme esperado para um processo em que há a participação de algum catalisador, a energia de ativação global obtida com o modelo AC se mostra significativamente inferior ao valor obtido com o modelo SC. Em ambos os casos coeficientes de correlação da ordem de 90% foram obtidos, sugerindo que os ajustes poderiam ser melhorados. Tal fato poderia ser feito mediante a consideração de modelos diferentes em faixas de temperaturas distintas, ou seja, para temperaturas inferiores a 900°C, o modelo SC poderia ser empregado, quanto para temperaturas superiores o modelo AC. Tal análise, no entanto, demandaria medidas de conversão em temperaturas intermediárias em ambos os intervalos mencionados.

Finalmente, pode-se ainda dizer que o valor de energia encontrado para o modelo SC se mostra consistente com valor obtido por Bertóti et al. [9], que estudaram a cinética de cloração de amostras de Al_2O_3 em atmosferas diluídas em C_2Cl_4 - $p(\text{C}_2\text{Cl}_4) = 1,58 \cdot 10^{-5} \text{atm}$, variando-se a temperatura na faixa entre 700 e 780oC. A energia de ativação global foi avaliada para os instantes iniciais mediante o emprego do modelo de Langmuir – Hishelwood (Eq. 7), que tem por premissa a existência de uma etapa inicial de adsorção, seguida da dissociação da molécula de C_2Cl_4 na superfície do óxido, sendo r_0 a taxa reacional inicial, k' a constante cinética do processo e K' a constante de equilíbrio associada à produção do cloreto AlCl_3 .

$$r_0 = \frac{(k' \cdot \sqrt{P_{\text{C}_2\text{Cl}_4}})}{(1 + K' \cdot \sqrt{P_{\text{C}_2\text{Cl}_4}})} \quad (7)$$

Segundo os referidos autores, a etapa de dissociação do C_2Cl_4 na superfície dos cristais de alumina é a etapa lenta do processo, sendo a energia de ativação global igual

a 133 kJ/mol, sendo esta próxima do valor encontrado no presente trabalho a partir do modelo SC. A sugerida atividade catalítica do Ta_2O_5 permitiria a redução da energia de ativação para a dissociação das moléculas de C_2Cl_4 adsorvidas na superfície das partículas do óxido.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados alcançados no presente trabalho permitem concluir que o C_2Cl_4 pode ser visto como um agente cloretante em potencial visando à extração de metais a partir de amostras de Ta_2O_5 . Em concordância com as simulações termodinâmicas, somente cloretos voláteis foram produzidos em todos os experimentos. Além disso, o emprego de um reator de leito fixo torna possível a decomposição parcial do C_2Cl_4 admitido entre a entrada do reator e a amostra. Tal fato se tornou evidente a partir da análise do material precipitado na saída do tubo após a execução de todos os experimentos. Convém comentar, que a quantidade de grafite produzida é pouco expressiva, de modo que nenhum traço deste material foi detectado no leito oxidado durante a execução dos testes de cloração.

No que se refere à análise cinética, ambos os modelos testados se mostraram satisfatórios para a descrição dos dados cinéticos na faixa de temperatura de interesse (800 a 950°C). Observou-se, no entanto, que o modelo SC apresenta um desempenho superior ao AC para temperaturas inferiores a 900°C, sendo o desempenho do modelo AC superior a 900 e 950°C, com energias de ativação globais numericamente iguais a $93,8 \pm 10$ kJ/mol (SC) e $32,0 \pm 10$ kJ/mol (AC). Os dados sugerem que o controle cinético deve ser de natureza química, sendo o valor de energia de ativação determinado para o modelo SC similar, em ordem de grandeza, ao valor publicado por Bertóti et al. [9] para a cloração de amostras de alumina em atmosferas com C_2Cl_4 diluído (133 kJ/mol). Adicionalmente, os resultados alcançados no presente trabalho sugerem ainda que o Ta_2O_5 pode atuar como catalisador da dissociação do C_2Cl_4 adsorvido na superfície dos cristais de Ta_2O_5 para reações conduzidas em temperaturas acima de 900°C.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos laboratórios de cristalografia e difração de raios -X e microscopia eletrônica do Departamento de Engenharia Química e Materiais da PUC-Rio pela realização das análises de DRX e MEV.

REFERÊNCIAS

1. L. Zhang, et al., Rare earth extraction from bastnaesite concentrate by stepwise carbochlorination - chemical vapor transport-oxidation, Metallurgical and Materials Transactions B 2004; 35 (2), 217-221.
2. E. Cecchi, et al., A feasibility study of carbochlorination of chrysotile tailings. International Journal of Mineral Processing 2009; 93 (3-4), 278-283.

3. Brocchi, E. A., Moura, F. J. Chlorination methods applied to recover refractory metals from tin slags. *Miner. Eng.* 2008; 21 (2), 150-156.
4. Fathi Rabashi. *Handbook of Extractive Metallurgy*. Wiley-VCH, New York; 1998.
5. Brocchi, E. A., Navarro, R. C. S., Moura, F. J. A Chemical Thermodynamics Review Applied to V₂O₅ chlorination. *Thermochimica Acta* 2013; 559, 1-16.
6. Pap, I. S., Mink, G., Auroux, A., Karmazsin, E. A kinetic study of the chlorination of MO₃, by CCl₄. *Thermochimica Acta* 1994; 241, 247-258.
7. P.K. JENA, E.A. BROCCHI, and R.I. GARCIA. Kinetics of Chlorination of Niobium Pentoxide by Carbon Tetrachloride. *Metalurgical and Materials Transactions B* 1997; 28, 39-45.
8. Bertóti, I., Pap, I. S., Szekely, T., Toth, A. Kinetics of gala-alumina chlorination by carbon tetrachloride. *Thermochimica Acta* 1980; 41, 27-32.
9. Bertóti, I., Pap, I. S., Szekely, T., Toth, A. Kinetics of gama-alumina chlorination by tetrachloroethylene. *Thermochimica Acta* 1981; 44, 333-336.
10. Navarro, R. C. S., Vasconcellos, E. T., Brocchi, E. A. Study on the thermodynamic viability of NiO and CuO chlorination with C₂Cl₄ at high temperatures. *Thermochimica Acta* 2017; 647, 22-29.
11. Zocatelli, T. Estudo Cinético da Cloração do Pentóxido de Tântalo em Altas Temperaturas com Tetracloroetileno. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química e Materiais, PUC-Rio, Dezembro, 2016.
12. Spencer P., Ansara, I. SGTE casebook – thermodynamics at work. Klaus Hack (Ed.), Materials modeling series, The Institute of Materials, UK: London, 1996.

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 e mestrado. 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.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Açairana 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 116

Ácido ascórbico 74, 76, 78, 79, 80

Análise estatística 5, 97, 111, 162, 167, 168

B

Bioetanol 44, 45, 46, 52

C

Camu-camu 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) 16, 17

Cerveja 54, 55, 57, 58, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Cerveja artesanal 64, 73, 74, 76, 77, 78, 81

Chá verde 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Cimentação 140

Cinética 7, 18, 23, 27, 44, 48, 49, 50, 51, 97, 98, 103, 104, 105, 106, 153, 154, 160, 194, 196, 204, 209, 210

Cinética de adsorção 44, 48, 50, 51

Colorimetria 109

Corante natural 109

Custos de produção 75, 88, 89, 90, 91, 93

D

Deposição de carbono 126, 127, 203

Destilação Solar 30, 31, 32, 43

E

Efluente 119, 120, 121, 123, 124, 125

Energia Solar 30, 31, 32, 42, 43

Enzimas lipolíticas 89, 92, 94, 95

Espectrofotometria UV-VIS 134

Estatística 1, 5, 72, 97, 111, 115, 162, 167, 168

Etanol 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 16, 17, 30, 31, 32, 43, 45, 46, 52, 53, 70, 91, 92, 109, 110, 114, 115, 116, 128

F

Farelo de Arroz 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Fermentação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 45, 46, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 71, 72, 79, 88, 89, 90, 92, 94, 95, 163

Fermentação em Estado Sólido 88, 89, 90, 94

Flexitubos 140

Furfural 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

H

Hidrocarbonização 119, 120, 123, 124, 125

I

Inibidor 44, 47, 49, 51, 52

L

Lavanderia 119, 121, 124, 125

Leveduras 6, 7, 45, 46, 54, 58, 61, 63

Lúpulo 55, 57, 65, 67, 68, 71, 72, 75, 76

M

MCM-41 18, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Métodos não isotérmicos 16, 19, 27

Miconia ciliata 96, 97, 98, 100, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 117

Modelagem 10, 11, 12, 27, 49, 94, 97, 145, 152, 153, 159, 194, 204

Modificação 42, 126

O

Ortofenantrolina 134, 136

P

Parâmetros cinéticos 16, 19, 20, 27, 28, 48, 51

R

Resíduos agroindustriais 89, 90, 95

Resina de troca iônica 134, 136, 138

S

Saccharomyces cerevisiae 1, 2, 3, 6, 61, 63, 64, 68

Sustentabilidade 30

T

Troca térmica 139, 140, 142, 144, 146

Trub 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

 **Atena**
Editora

2 0 2 0