

Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

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

Prof^a Dr^a 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. 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. 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
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
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. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobom – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^a Dr^a 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
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. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Dr^a 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^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. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª 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 Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
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
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
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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	<p>Ciência e engenharia de materiais e o desenvolvimento socioambiental [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-848-9 DOI 10.22533/at.ed.489191912</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Materiais – Análise. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Vinicius Bubna.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620.11299</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Neste contexto o tema socioambiental pode ser inserido, visto que devido à redução nas disponibilidades de matérias primas, a elevação de custos de descarte dos materiais, sua reciclagem vem ganhando cada vez mais destaque a nível mundial. Hoje optar por produtos reciclados bem como sustentáveis se torna uma vitrine as vendas.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e de sustentabilidade, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se dizer que a área de reciclagem está intimamente ligada ao estudo dos materiais, para que possam ser desenvolvidas técnicas e processos para um eficiente aproveitamento.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DA ADIÇÃO DE ADITIVOS NÃO CONVENCIONAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS	
Antonio Dias de Lima Terceiro Neto Daniel Baracuy da Cunha Campos Francisco Humberlânio Tavares de Araújo Júlio Lopes da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4891919121	
CAPÍTULO 2	12
ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA	
Wendel Melo Prudêncio de Araújo Thays Mabelly Bezerra e Silva Kássia Hellen Souza de Oliveira João Marcos Lima Veras Joaquim Lucas de Souza Paixão João Emmanuel Alves Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.4891919122	
CAPÍTULO 3	24
TIJOLO PRODUZIDO POR COMPÓSITO DE EXOCARPO DE LICURI FRAGMENTADO	
Bárbara Jane Martins Borges Rafael Santos de Sousa Silva Rúi Carlos de Sousa Mota	
DOI 10.22533/at.ed.4891919123	
CAPÍTULO 4	31
PRODUÇÃO DE AGREGADOS UTILIZANDO LAMA VERMELHA: O ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM	
Bruno Marques Viegas Edílson Marques Magalhães Julia Alves Rodrigues Josiel Lobato Ferreira Diego Cardoso Estumano José Antônio da Silva Souza Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.4891919124	
CAPÍTULO 5	39
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO RESÍDUO DE FELDSPATO COMO MATERIAL PARA CAMADAS DOS PAVIMENTOS	
Jonatas Kennedy Silva de Medeiros Larissa Santana Batista Giovanna Feitosa de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.4891919125	

CAPÍTULO 6 52

FÔRMAS: UTILIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE FÔRMAS REVESTIDAS COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEDB - SACOLAS PLÁSTICAS)

Lucas Prestes Chize
Léo Jaime de Amorim e Silva
Aída Pereira Baêta
Flávia da Silva

DOI 10.22533/at.ed.4891919126

CAPÍTULO 7 61

OBTENÇÃO DE UM COPO MAIS SUSTENTÁVEL: PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E DE BIOCÓMPÓSITOS

Emília Satoshi Miyamaru Seo
Nicolle Silva da Silva
Isabella Tereza Ferro Barbosa
Alessandro Augusto Rogick Athiê
Adriano Camargo de Luca

DOI 10.22533/at.ed.4891919127

CAPÍTULO 8 74

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E RESISTÊNCIA À CHAMA DE CÓMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMA VERMELHA E CAULIM

Mario Henrique Moreira de Moraes
Diogo Pontes de Queiroz
Luiz Gabriel da Silva Nascimento
José Antônio Silva Souza
Roberto Tetsuo Fujiyama
Deibson Silva da Costa

DOI 10.22533/at.ed.4891919128

CAPÍTULO 9 85

DISPERSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA SOBRE PÓ POLIMÉRICO PARA PRODUÇÃO DE FILME PLÁSTICO

Lucas Matono Casagrande
Paulo Henrique Chulis
Fabrício Antônio Moreno Zanetelli
Márcia Silva de Araújo
José Alberto Cerri

DOI 10.22533/at.ed.4891919129

CAPÍTULO 10 99

INFLUENCE OF LIGNIN CONTENT IN MACADAMIA NUTSHELL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE BIOCÓMPÓSITOS

Bruno Chaboli Gambarato
Heitor Buzetti Simões Bento
Ana Karine Furtado de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.48919191210

CAPÍTULO 11 104

MÉTODOS DE SÍNTESE DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Jardel Meneses Rocha

Reinaldo Nascimento Morais
Fernando Pereira Lima
Tiago Linus Silva Coelho
Patrícia Santos Andrade
Angélica de Brito Sousa
Juracir Francisco de Brito
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.48919191211

CAPÍTULO 12 113

APLICAÇÕES DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Jardel Meneses Rocha
Reinaldo Nascimento Morais
Fernando Pereira Lima
Tiago Linus Silva Coelho
Patrícia Santos Andrade
Angélica de Brito Sousa
Juracir Francisco de Brito
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.48919191212

CAPÍTULO 13 122

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MECÂNICA E DA FRATURA DE TRILHOS PERLÍTICOS

Beatriz Seabra Melo
Vinicius Silva dos Reis
Clóvis Iarlande Oliveira Santana
Carlos Vinicius de Paes Santos
Gregory de Oliveira Miranda
Andrey Coelho das Neves
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.48919191213

CAPÍTULO 14 135

ANÁLISE DOS EFEITOS DA CORROSÃO EM ELETRODO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO COBREADO

Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho
Magda Rosângela Santos Vieira
Ivanilda Ramos de Melo
Roseana Florentino da Costa Pereira
Severino Leopoldino Urtiga Filho

DOI 10.22533/at.ed.48919191214

CAPÍTULO 15 145

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS GASES DE PROTEÇÃO E PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO SAE 1035 SOLDADO POR PROCESSO MAG

Perla Alves de Oliveira
Thiago Monteiro Maquiné
Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima
José Costa de Macêdo Neto
Suelem de Jesus Pessoa
Efraim Ribas Linhares Bruno

Anne Gabrielle Mendes Xavier
Josiel Bruno de Oliveira
DOI 10.22533/at.ed.48919191215

CAPÍTULO 16 155

A RELAÇÃO ENTRE A LOGÍSTICA REVERSA E O *TRIPLE BOTTOM LINE* EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM

Alequexandre Galvez de Andrade
Nélio Fernando dos Reis
Jair Minoro Abe

DOI 10.22533/at.ed.48919191216

CAPÍTULO 17 165

A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO E O SUBSÍDIO CRUZADO: CRÍTICA À PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DAS DIRETRIZES NACIONAIS

Joel de Jesus Macedo
Leura Lucia Conte de Oliveira
Marcus Venicio Cavassin

DOI 10.22533/at.ed.48919191217

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 185

ÍNDICE REMISSIVO 186

MÉTODOS DE SÍNTESE DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Data de aceite: 18/11/2019

José Milton Elias de Matos

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química

Teresina – Piauí

Jardel Meneses Rocha

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – Piauí

Reinaldo Nascimento Moraes

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – Piauí

Fernando Pereira Lima

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – Piauí

Tiago Linus Silva Coelho

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – Piauí

Patrícia Santos Andrade

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – Piauí

Angélica de Brito Sousa

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – Piauí

Juracir Francisco de Brito

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – Piauí

RESUMO: Visando aplicações tecnológicas, a literatura aborda diversos métodos de síntese de TiO_2 nanoestruturado, como precipitação química, microemulsão, cristalização solvotérmica e os mais utilizados atualmente: a cristalização hidrotérmica e o método sol-gel. O presente trabalho aborda uma revisão literária sobre esses principais métodos de síntese desses compostos nanoestruturados. Expondo as vantagens destes: a facilidade de processamento, o controle da composição e estequiometria, elevada pureza de fase e, no caso do método hidrotérmico, o baixo custo também deve ser considerado.

PALAVRAS-CHAVE: Síntese TiO_2 nanoestruturado, sol-gel, cristalização hidrotérmica, microemulsão

SYNTHESIS METHODS OF TITANIUM BASED NANOSTRUCTURES

ABSTRACT: Aiming at technological applications, the literature addresses several methods of nanostructured TiO_2 synthesis, such as chemical precipitation, microemulsion, solvothermic crystallization and the most used

today: hydrothermal crystallization and the sol-gel method. The present work deals with a literary review about these main methods of synthesis of these nanostructured compounds. Exposing the advantages of these: ease of processing, control of composition and stoichiometry, high phase purity and, in the case of the hydrothermal method, the low cost should also be considered.

KEYWORDS: Nanostructured TiO₂ synthesis, sol-gel, hydrothermal crystallization, microemulsion

1 | MÉTODO SOL-GEL

O método SG é extensamente empregado na síntese de nanoestruturas na forma de filmes finos e em especial na forma de pós (Wang e Ying, 1999; Su *et al.*, 2004). Su *et al.* (2004), descrevem a rota SG empregando precursores de alcóxidos metálicos, neste caso, uma fonte de titânio, principalmente em meio alcoólico. O processo possui duas etapas principais, a hidrólise e a condensação. Inicialmente o material é hidrolisado, estado sol, e posteriormente ocorre a formação de polímeros de condensação pela desidratação ou dealcoolização, favorecendo as ligações do tipo M–O–M (Wang e Ying, 1999; Su *et al.*, 2004; Macwan *et al.*, 2011).

O método SG a partir de alcóxidos utiliza um pós-tratamento térmico em temperaturas superiores a 400 °C, no intuito de eliminar resíduos orgânicos assim como favorecer a cristalinidade da fase desejada. Esta etapa proporciona o aumento do tamanho dos cristalitos por meio do fenômeno de sinterização (Su *et al.*, 2004; Macwan *et al.*, 2011). A elevação do tamanho dos cristalinos pode ser bem controlada com a otimização de todas as etapas do processo SG, abrangendo também as etapas de lavagem e secagem (Lessing, 1989; Szanics *et al.*, 1998).

2 | MÉTODO HIDROTÉRMICO

O método hidrotérmico assim como o método sol-gel, é bastante empregado em síntese de nanoestruturas, sobre tudo observando sua simplicidade, devido principalmente ao fato de que a reação química se processa em temperaturas superiores a do solvente, no caso mais comum a água. Estima-se que a temperatura máxima empregada neste processo fique em torno de 300 °C (Byrappa e Adschiri, 2007).

O termo hidrotérmico, conhecido por muitos como hidrotermal, tem sua origem no estudo geológico, utilizado inicialmente pelo geólogo inglês Roderick Murchison para descrever a ação da água, condicionada a elevadas temperaturas e pressão, nas mudanças da crosta terrestre, que levaram à formação de rochas e minerais (Byrappa e Adschiri, 2007). Segundo Byrappa e Adschiri (2007), o processo hidrotérmico pode

ser definido como uma reação heterogênea na presença de água ou outro solvente, sob condições de altas pressões e temperaturas, capaz de dissolver ou recristalizar materiais de baixa solubilidade em condições normais (Byrappa e Adschiri, 2007). Outros pesquisadores, na época, preferiam denominar de solvotérmico, que significa o uso de outro solvente não aquoso, em condições próximas a crítica, em reações adequadas (Byrappa e Adschiri, 2007).

O tratamento hidrotérmico utilizado na produção de materiais admite inúmeras vantagens, dentre as quais: elevada pureza dos produtos, alta homogeneidade, presença de cristais simétricos, boa distribuição do tamanho de partículas, menor temperatura de sinterização e etc (Byrappa e Adschiri, 2007). Em relação à reação propriamente dita, o processo ocorre com baixo gasto de energia, curtos intervalos de tempo, elevadas taxas reacionais, geração de pouco resíduo, emprego de instrumentos com menores dimensões (pouco volumosos), baixo custo econômico e etc (Byrappa e Adschiri, 2007)

Deste modo o processo hidrotérmico possibilita o controle do tamanho de cristais, bem como, a transição entre as possíveis formas polimórficas (Byrappa e Adschiri, 2007). Por esses motivos, o método hidrotérmico possibilita o emprego de seus materiais em uma série de aplicações tecnológicas como, em células solares, diodos emissores de luz, dispositivos eletrônicos e fotoeletrônicos, sistemas ópticos, sensores de gás, reguladores biológicos, materiais refrigeradores termoelétricos, catálise, baterias de lítio e etc (Byrappa e Adschiri, 2007).

O trabalho de Byrappa e Adchiri (2007), relata ainda que o controle na morfologia dos nanomateriais terá um grande impacto na sociedade, chegando a sugerir uma nova revolução industrial. Sobre isso os autores sugeriram as principais diferenças entre produtos obtidos pelos métodos convencionais e o método hidrotérmico por meio de uma ilustração, Figura 1.

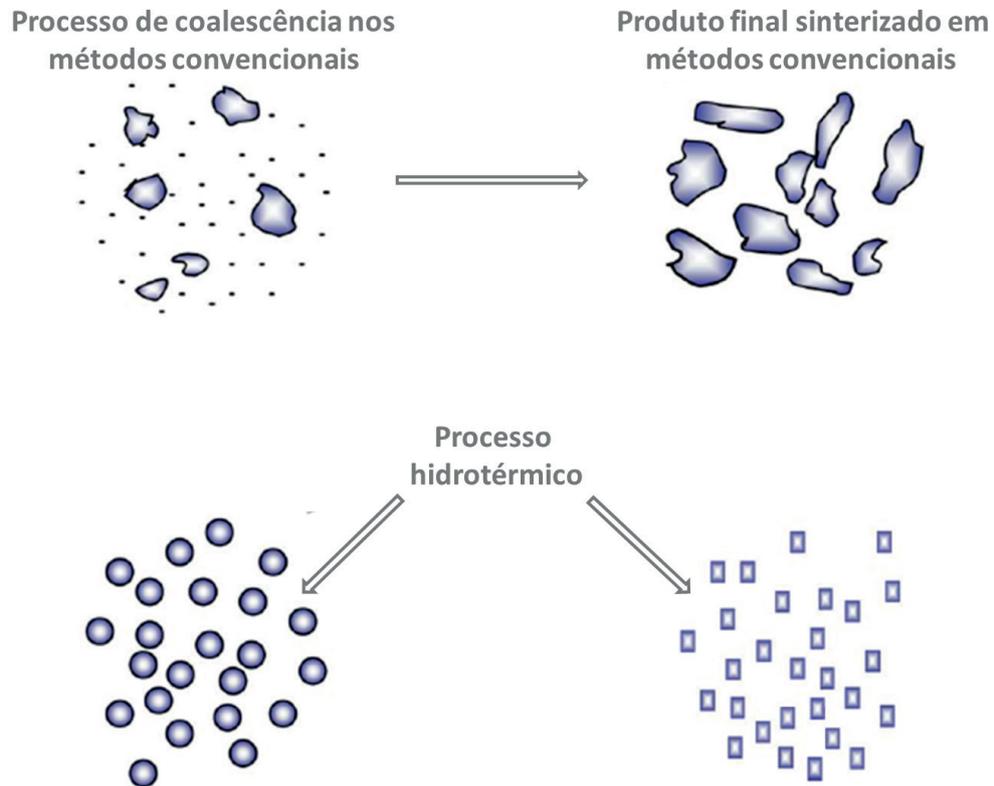


Figura 1 – Diferença entre partículas processadas pelo método hidrotérmico e métodos convencionais, segundo Byrappa e Adchiri (2007).

Em 1998, Kasuga e seus colaboradores foram os primeiros a utilizar o método solvo-hidrotérmico em meio alcalino. Neste estudo Kasuga realizou um procedimento experimental reagindo o dióxido de titânio (TiO_2) com soluções concentradas de hidróxido de sódio (Kasuga *et al.*, 1998). Este procedimento foi realizado em reatores de teflon envoltos por aço, por um período de 20h, e as temperaturas empregadas foram 20, 60 e 110 °C. O TiO_2 utilizado foi a anatase, obtida pela calcinação de $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ no estado *sol*. Já a solução foi preparada com hidróxido de sódio (NaOH), em concentrações de 2.5, 5, 10 e 20 mol L⁻¹ (Kasuga *et al.*, 1998). Antes da secagem, os materiais obtidos foram lavados com solução de HCl, seguida de lavagens com água destilada. Em seus resultados, Kasuga *et al* (1998), obtiveram materiais com morfologia na forma de agulha, com diâmetro em torno de 8 nm e comprimentos próximos de 100 nm (Kasuga *et al.*, 1998).

No ano seguinte, Kasuga *et al* (1999), realizaram um novo estudo de modo a confirmar os resultados observados no trabalho anterior. Utilizando TiO_2 anatase e rutilo. Nesta ocasião, Kasuga conseguiu resultados semelhantes ao do seu estudo realizado em 1998. Kasuga *et al* (1999), descreveram de modo pioneiro a morfologia nanotubular, considerado um *marco* no estudo das nanoestruturas de titanato, observando que foi a confirmação deste método, haja visto considerado simples, que assegurava a reprodutibilidade de tal morfologia e posteriormente de muitas outras. Desde então, muitas discussões foram abertas, de modo a incentivar vários

pesquisadores a descreverem inúmeros mecanismos para síntese de nanoestruturas de titanato por meio do método hidrotérmico alcalino (Wang *et al.*, 2002; Kukovecz *et al.*, 2005; Mao *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2009).

A morfologia nanotubular passou a ser sintetizada com sucesso, utilizando as várias formas polimórficas do dióxido de titânio e o tratamento em meio alcalino, preservando moderações nas taxas de aquecimento (Nakahira *et al.*, 2004; Lan *et al.*, 2005; Elsanousi *et al.*, 2007). É interessante ressaltar que existem relatos de nanotubos formados com titânia amorfa, em estado *sol* (Wu *et al.*, 2002), contudo, a maioria dos estudos descreve a síntese de nanotubos de titânio empregando dióxido de titânio vendido comercialmente (Bavykin *et al.*, 2004; Nakahira *et al.*, 2004; Yuan e Su, 2004; Seo *et al.*, 2008).

Estudos como o de Mancic *et al* (2009), descrevem a síntese de nanotubos com rendimento elevado, partindo de TiO_2 rutilo, encontrado naturalmente no Brasil (Mancic *et al.*, 2009). Estudos anteriores já admitiam esta tendência como forma mais econômica e promissora, comparada com as sínteses partindo de precursores comerciais. Em 2005, relatos de Pavasupree *et al* (2005), e Suzuki *et al* (2005), já descreviam a utilização de precursores naturais, em ambos os casos, os pesquisadores utilizaram rutilo extraído na Austrália para produção de nanofibras (Pavasupree *et al.*, 2005; Suzuki *et al.*, 2005). Uma vertente pouco estudada é o emprego de TiO_2 sintetizado em laboratório, de forma independente, por via hidrotérmica, semelhante ao descrito por Matos *et al* (2009), na síntese de ZrO_2 (Matos *et al.*, 2009). Esse via oferece como vantagens o controle do tamanho de cristalitos e a presença de várias fases polimórficas na amostra.

Sobre as condições reacionais os nanotubos são favorecidos em condições moderadas de temperatura, entre 90 e 160 °C, e concentração alcalina de 2,5 a 10 mol L⁻¹ (Nakahira *et al.*, 2004; Lan *et al.*, 2005; Mao e Wong, 2006; Qamar *et al.*, 2006; Elsanousi *et al.*, 2007; Morgado *et al.*, 2007). As nanofitas são observadas em condições hidrotérmicas mais extremas, por exemplo, estágios de temperaturas superiores a 170 °C e concentrações alcalinas em torno de 10 mol L⁻¹ (Yuan e Su, 2004; Lan *et al.*, 2005; Mao *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2006; Horvath *et al.*, 2007; Umek *et al.*, 2007).

O tratamento hidrotérmico ocorre frequentemente dentro de recipientes fechados e selados, cuja pressão interna atinge valores superiores a da pressão atmosférica (Byrappa e Adschiri, 2007). Estudos relatam que a pressão pode influenciar diretamente nas morfologias, especialmente quando as temperaturas reacionais são superiores a 150 °C (Tsai e Teng, 2006). Existem também, estudos que apontam a produção de nanoestruturas em ambiente com pressão igual a atmosférica, por exemplo, Bavykin *et al* (2007), sintetizaram nanotubos de titanato por meio do método hidrotérmico alcalino, cujas condições foram 56 °C, solução de

KOH (10 mol L⁻¹) e tempo reacional de 12 dias. O grande destaque deste trabalho foi o emprego do sistema sob refluxo (Bavykin *et al.*, 2007).

No tratamento hidrotérmico outro parâmetro reacional a ser investigado é o tempo de reação. Existem muitos estudos na literatura que produziram uma espécie de padrão de tempo reacional em sínteses por *via* hidrotérmica alcalina. Este padrão estipula um intervalo entre 12 e 72h, todavia, existem relatos de tempos bem superiores, chegando até 2 semanas (Chen *et al.*, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Bavykin *et al.*, 2004; Meng *et al.*, 2004; Yuan e Su, 2004; Mao e Wong, 2006; Elsanousi *et al.*, 2007).

Tendo em vista a produção em escala industrial, estes tempos reacionais são considerados longos, então a utilização de fornos microondas foi uma das formas encontradas para reduzir drasticamente o tempo de reação quando comparada com os modelos convencionais de síntese hidrotérmica de nanoestruturas, por exemplo, dos nanotubos de titanato. Este tempo pode ser reduzido para até 1,5h, quando a amostra sofre um pré-tratamento de 80 minutos em ultrassom (Zhu *et al.*, 2001; Ou *et al.*, 2007).

Observando que existem inúmeros fatores reacionais, Koroesi *et al* (2012), descrevem varias metodologias utilizadas ao longo do tempo para a síntese de nanoestruturas de titanatos obtidas por *via* hidrotérmica (Tabela 2.2) (Koroesi *et al.*, 2012). Em seu estudo, Koroesi afirma a relevância que as condições reacionais exercem sobre a formação das diferentes tipos de morfologias (Koroesi *et al.*, 2012).

Precursor(s)	Condições hidrotérmicas	Composição (fases)	Morfologia(s)	Referência
Anatase ou rutilo (TiO ₂)	110 °C, 20h, 5-10 mol L ⁻¹ (NaOH)	TiO ₂	Nanotubos	(Kasuga <i>et al.</i> , 1999)
[Ti ₈ O ₁₂ (H ₂ O) ₂₄]	150 °C, 24h, 10 mol L ⁻¹ (NaOH)	TiO ₂ (B)	Nanotubos	(Koroesi <i>et al.</i> , 2012)
Anatase (TiO ₂)	110–190 °C, 12–168h, 5-10 mol L ⁻¹ (NaOH)	Titanato lepidocrocita	Nanotubos/ Nanofitas	(Ma <i>et al.</i> , 2005)
Anatase (TiO ₂)	60-200 °C, 0-12h, 1-10 mol L ⁻¹ (NaOH ou KOH) e 1,5 mL de 50% H ₂ O ₂	Titanato lepidocrocita	Nanotubos/ Nanofios	(Mao e Wong, 2006)
TiO ₂ ·xH ₂ O	180 °C, 24h, NH ₃ /1,5 mol L ⁻¹ de NaCl	H ₂ Ti ₂ O ₅ ·H ₂ O	Nanofolhas	(Zhao <i>et al.</i> , 2010)

Anatase (TiO ₂)	130 °C, 336h, 10 mol L ⁻¹ Na ₂ S/ NaOH 150 °C, 48h, e,	Na ₂ Ti ₃ O ₇	Nanotubos	(Kukovecz <i>et al.</i> , 2005)
Anatase (TiO ₂)	110 –150 °C, 6h (micro-ondas), 10 mol L ⁻¹ (NaOH)	Na ₂ Ti ₃ O ₇ e H ₂ Ti ₃ O ₇	Nanotubos/ Nanofitas	(Ribbens <i>et al.</i> , 2008)
Anatase (TiO ₂)	100 °C, 12-48h, 10 mol L ⁻¹ (NaOH)	H ₂ Ti ₃ O ₇	Nanofolhas	(Wei <i>et al.</i> , 2007)
Anatase (TiO ₂)	130 °C, 1-72h, 10 mol L ⁻¹ (NaOH)	H ₂ Ti ₃ O ₇	Nanotubos/ Nanofios	(Horvath <i>et al.</i> , 2007)
Anatase (TiO ₂)	140 °C, 22h, 10 mol L ⁻¹ (NaOH)	H ₂ Ti ₃ O ₇	Nanotubos	(Bavykin <i>et al.</i> , 2006)

Tabela 1 – Condições de síntese e características, adaptada a partir de Koroesi *et al.* (2012).

REFERÊNCIAS

ARMSTRONG, A. R.; ARMSTRONG, G.; CANALES, J.; BRUCE, P. G. **TiO₂-B nanowires**. *Angewandte Chemie-International Edition*. v. 43, 2286-2288, 2004.

BAVYKIN, D. V.; CRESSEY, B. A.; WALSH, F. C. **Low-temperature synthesis of titanate nanotubes in aqueous KOH**. *Australian Journal of Chemistry*. v. 60, 95-98, 2007.

BAVYKIN, D. V.; PARMON, V. N.; LAPKIN, A. A.; WALSH, F. C. **The effect of hydrothermal conditions on the mesoporous structure of TiO₂ nanotubes**. *Journal of Materials Chemistry*. v. 14, 3370-3377, 2004.

BYRAPPA, K.; ADSCHIRI, T. **Hydrothermal technology for nanotechnology**. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. v. 53, 117-166, 2007.

CHEN, Q.; DU, G. H.; ZHANG, S.; PENG, L. M. **The structure of trititanate nanotubes**. *Acta Crystallographica Section B-Structural Science*. v. 58, 587-593, 2002.

ELSANOUSI, A.; ELSSFAH, E. M.; ZHANG, J.; LIN, J.; SONG, H. S.; TANG, C. **Hydrothermal treatment duration effect on the transformation of titanate nanotubes into nanoribbons**. *Journal of Physical Chemistry C*. v. 111, 14353-14357, 2007.

HORVATH, E.; KUKOVECZ, A.; KONYA, Z.; KIRICSI, I. **Hydrothermal conversion of self-assembled titanate nanotubes into nanowires in a revolving autoclave**. *Chemistry of Materials*. v. 19, 927-931, 2007.

HUANG, J.; CAO, Y.; HUANG, Q.; HE, H.; LIU, Y.; GUO, W.; HONG, M. **High-Temperature Formation of Titanate Nanotubes and the Transformation Mechanism of Nanotubes into Nanowires**. *Crystal Growth & Design*. v. 9, 3632-3637, 2009.

KASUGA, T.; HIRAMATSU, M.; HOSON, A.; SEKINO, T.; NIIHARA, K. **Formation of titanium oxide nanotube**. *Langmuir*. v. 14, 3160-3163, 1998.

- KASUGA, T.; HIRAMATSU, M.; HOSON, A.; SEKINO, T.; NIIHARA, K. **Titania nanotubes prepared by chemical processing**. *Advanced Materials*. v. 11, 1307+, 1999.
- KOROESI, L.; PAPP, S.; CSAPO, E.; MEYNEN, V.; COOL, P.; DEKANY, I. **A short solid-state synthesis leading to titanate compounds with porous structure and nanosheet morphology**. *Microporous and Mesoporous Materials*. v. 147, 53-58, 2012.
- KUKOVECZ, A.; HODOS, M.; KONYA, Z.; KIRICSI, I. **Complex-assisted one-step synthesis of ion-exchangeable titanate nanotubes decorated with CdS nanoparticles**. *Chemical Physics Letters*. v. 411, 445-449, 2005.
- LAL, M.; CHHABRA, V.; AYYUB, P.; MAITRA, A. **Preparation and characterization of ultrafine TiO₂ particles in reverse micelles by hydrolysis of titanium di-ethylhexyl sulfosuccinate**. *Journal of Materials Research*. v. 13, 1249-1254, 1998.
- LAN, Y.; GAO, X. P.; ZHU, H. Y.; ZHENG, Z. F.; YAN, T. Y.; WU, F.; RINGER, S. P.; SONG, D. Y. **Titanate nanotubes and nanorods prepared from rutile powder**. *Advanced Functional Materials*. v. 15, 1310-1318, 2005.
- LESSING, P. A. **Mixed-cation oxide powders via polymeric precursors**. *American Ceramic Society Bulletin*. v. 68, 1002-1007, 1989.
- MACWAN, D. P.; DAVE, P. N.; CHATURVEDI, S. **A review on nano-TiO(2) sol-gel type syntheses and its applications**. *Journal of Materials Science*. v. 46, 3669-3686, 2011.
- MANCIC, L. T.; MARINKOVIC, B. A.; JARDIM, P. M.; MILOSEVIC, O. B.; RIZZO, F. **Precursor Particle Size as the Key Parameter for Isothermal Tuning of Morphology from Nanofibers to Nanotubes in the Na_{2-x}H_xTi_nO_{2n+1} System through Hydrothermal Alkali Treatment of Rutile Mineral Sand**. *Crystal Growth & Design*. v. 9, 2152-2158, 2009.
- MAO, Y. B.; KANUNGO, M.; HEMRAJ-BENNY, T.; WONG, S. S. **Synthesis and growth mechanism of titanate and titania one-dimensional nanostructures self-assembled into hollow micrometer-scale spherical aggregates**. *Journal of Physical Chemistry B*. v. 110, 702-710, 2006.
- MATOS, J. M. E.; ANJOS JÚNIOR, F. M.; CAVALCANTE, L. S.; SANTOS, V.; LEAL, S. H.; SANTOS JÚNIOR, L. S.; SANTOS, M. R. M. C.; LONGO, E. **Reflux synthesis and hydrothermal processing of ZrO₂ nanopowders at low temperature**. *Materials Chemistry and Physics*. v. 117, 455-459, 2009.
- MENG, X. D.; WANG, D. Z.; LIU, J. H.; ZHANG, S. Y. **Preparation and characterization of sodium titanate nanowires from brookite nanocrystallites**. *Materials Research Bulletin*. v. 39, 2163-2170, 2004.
- MORGADO, E., JR.; DE ABREU, M. A. S.; MOURE, G. T.; MARINKOVIC, B. A.; JARDIM, P. M.; ARAUJO, A. S. **Characterization of nanostructured titanates obtained by alkali treatment of TiO(2)-anatases with distinct crystal sizes**. *Chemistry of Materials*. v. 19, 665-676, 2007.
- NAKAHIRA, A.; KATO, W.; TAMAI, M.; ISSHIKI, T.; NISHIO, K.; ARITANI, H. **Synthesis of nanotube from a layered H₂Ti₄O₉ center dot H₂O in a hydrothermal treatment using various titania sources**. *Journal of Materials Science*. v. 39, 4239-4245, 2004.
- PAVASUPREE, S.; SUZUKI, Y.; YOSHIKAWA, S.; KAWAHATA, R. **Synthesis of titanate, TiO₂ (B), and anatase TiO₂ nanofibers from natural rutile sand**. *J Solid State Chem*. v. 178, 3110-3116, 2005.
- QAMAR, M.; YOON, C. R.; OH, H. J.; KIM, S. J.; KIM, D. H.; LEE, K. S.; LEE, H. G. **The effect of synthesis conditions on the formation of titanate nanotubes**. *Journal of the Korean Physical Society*. v. 49, 1493-1496, 2006.

- SCOLAN, E.; SANCHEZ, C. **Synthesis and characterization of surface-protected nanocrystalline titania particles.** Chemistry of Materials. v. 10, 3217-3223, 1998.
- SEO, H.-K.; KIM, G.-S.; ANSARI, S. G.; KIM, Y.-S.; SHIN, H.-S.; SHIM, K.-H.; SUH, E.-K. **A study on the structure/phase transformation of titanate nanotubes synthesized at various hydrothermal temperatures.** Solar Energy Materials and Solar Cells. v. 92, 1533-1539, 2008.
- SU, C.; HONG, B. Y.; TSENG, C. M. **Sol-gel preparation and photocatalysis of titanium dioxide.** Catalysis Today. v. 96, 119-126, 2004.
- SUZUKI, Y.; PAVASUPREE, S.; YOSHIKAWA, S.; KAWAHATA, R. **Natural rutile-derived titanate nanofibers prepared by direct hydrothermal processing.** Journal of Materials Research. v. 20, 1063-1070, 2005.
- SZANICS, J.; OKUBO, T.; KAKIHANA, M. **Preparation of LiTaO₃ powders at reduced temperatures by a polymerized complex method.** Journal of Alloys and Compounds. v. 281, 206-210, 1998.
- TSAI, C. C.; TENG, H. S. **Structural features of nanotubes synthesized from NaOH treatment on TiO₂ with different post-treatments.** Chemistry of Materials. v. 18, 367-373, 2006.
- UMEK, P.; KOROSK, R. C.; JANCAR, B.; DOMINKO, R.; ARCON, D. **The influence of the reaction temperature on the morphology of sodium titanate 1D nanostructures and their thermal stability.** Journal of Nanoscience and Nanotechnology. v. 7, 3502-3508, 2007.
- WANG, C. C.; YING, J. Y. **Sol-gel synthesis and hydrothermal processing of anatase and rutile titania nanocrystals.** Chemistry of Materials. v. 11, 3113-3120, 1999.
- WANG, Y. Q.; HU, G. Q.; DUAN, X. F.; SUN, H. L.; XUE, Q. K. **Microstructure and formation mechanism of titanium dioxide nanotubes.** Chemical Physics Letters. v. 365, 427-431, 2002.
- WU, D.; LIU, J.; ZHAO, X. N.; LI, A. D.; CHEN, Y. F.; MING, N. B. **Sequence of events for the formation of titanate nanotubes, nanofibers, nanowires, and nanobelts.** Chemistry of Materials. v. 18, 547-553, 2006.
- WU, M. M.; LIN, G.; CHEN, D. H.; WANG, G. G.; HE, D.; FENG, S. H.; XU, R. R. **Sol-hydrothermal synthesis and hydrothermally structural evolution of nanocrystal titanium dioxide.** Chemistry of Materials. v. 14, 1974-1980, 2002.
- YU, H. G.; YU, J. G.; CHENG, B. **Preparation, characterization and photocatalytic activity of novel TiO₂ nanoparticle-coated titanate nanorods.** Journal of Molecular Catalysis a-Chemical. v. 253, 99-106, 2006.
- YUAN, Z. Y.; SU, B. L. **Titanium oxide nanotubes, nanofibers and nanowires.** Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects. v. 241, 173-183, 2004.
- ZHU, Y. C.; LI, H. L.; KOLTYPIN, Y.; HACOEN, Y. R.; GEDANKEN, A. **Sonochemical synthesis of titania whiskers and nanotubes.** Chemical Communications. 2616-2617, 2001.

SOBRE OS ORGANIZADORES

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

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acesso ao saneamento 168
Aditivos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14
Agregado leve 31, 34, 37, 38
Análise da fratura 122, 126, 130
Análise de variância 99
Aplicações biomédicas 113, 119
Argamassas 1, 2, 3, 4, 10, 11

B

Baterias de lítio 106, 113, 118
Biomassa 99

C

Características 3, 29, 32, 38, 39, 42, 45, 46, 47, 56, 61, 64, 65, 74, 83, 84, 88, 89, 97, 110, 118, 122, 127, 128, 129, 134, 136, 146, 147, 150, 151, 153, 164, 168
Caulim 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84
Células combustível 113
Compensado 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 170
Compósito 20, 24, 25, 61, 75, 76, 77, 79, 80, 84
Compósitos 22, 24, 29, 30, 63, 64, 72, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 84, 99, 119, 135
Concreto de alta resistência 12, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23
Cooperativas 155, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 164
Corrosão 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 185
Cristalização hidrotérmica 104

D

Dispersão 82, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 94, 95

E

Economia solidária 155, 162, 163, 164

F

Fadiga 122, 124, 129, 134
Fibra de polipropileno 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22
Fibras de cana-de-açúcar 61
Fibras de côco verde 61
Filme plástico 85
Fôrmas 52, 54, 58, 60
Fotocatálise 113, 114

I

Instalações elétricas 135, 144

italic 105

L

Lama vermelha 31, 32, 33, 34, 37, 38, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 84

Licuri 24, 25, 26, 29, 30

M

Marco regulatório do saneamento 165, 166, 181, 183

Materiais conjugados 74

Materiais de construção 1, 2, 11

Mercerização 61, 65, 66, 67, 68, 71

Microemulsão 104

Mineração 32, 39, 40, 41, 43, 46, 47, 50, 75, 84

N

Nanoestruturas de titânio 113

Nanopartículas de prata 85, 86, 87, 89, 91, 96

P

Pavimentação 39, 40, 41, 42, 47, 48, 50, 51

Polietileno 52, 53, 54, 55, 61, 64, 65, 66, 72, 85, 88, 89

Propriedades mecânicas 12, 14, 15, 19, 20, 22, 64, 81, 82, 83, 99, 124, 132, 134, 147, 148, 151, 152, 153

R

Resina poliéster 74

Resistência à compressão 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 22, 61, 64

Resistência à compressão diametral 12, 20

Riscos do fim do subsídio 166

S

Sacolas plásticas 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60

Secagem 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 66, 76, 93, 105, 107, 117

Síntese TiO₂ nanoestruturado 104

Sistemas de aterramento 135, 136, 144

Slump test 12, 13, 18

Sobrecarga 21, 122

Sol-gel 104, 105, 111, 112

Subsídio cruzado 165, 166, 168, 169, 170, 174, 175, 180, 182

Substituto 52

Sustentabilidade 2, 25, 39, 53, 61, 155, 156, 159, 160, 161, 163, 164, 169

T

Técnicas eletroquímicas 135, 144

Tijolo 24, 25, 26, 28, 29

Trilho ferroviário 122

Triple bottom line 155, 156, 157, 159

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-848-9



9 788572 478489