

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

Estudos (Inter)  
Multidisciplinares  
nas Engenharias 2

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas  
Engenharias  
2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª 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**

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 Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – 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 Internazionele delle Figlie de 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. 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  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª 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  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. 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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E82	<p>Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – 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 978-85-7247-701-7 DOI 10.22533/at.ed.017190910</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 21 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETO DESENVOLVIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS/SP	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909101</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA A PARTIR DE RESÍDUO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE PNEUS	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909102</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DA MADEIRA: UMIDADE, DENSIDADE APARENTE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELAS ÀS FIBRAS DAS ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR	
Weiza Nunes Barbosa Emerson Lopes de Amorim Luiz Gustavo Ayres Barros Kellen de Souza Singh Lucas Matos de Souza José Castro Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909103</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
ANÁLISE DOS EFEITOS DA VAZÃO MÁSSICA SOBRE A DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM AQUECEDORES DE LEITE DO TIPO PLACAS PLANAS GAXETADAS	
Alex Vazzoler	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909104</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA ( <i>Manihot esculenta Crantz</i> ) EM COMUNIDADE TRADICIONAL DO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP E POSSÍVEIS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	
Roberto Quaresma Santana Lia Carla de Souza Rodrigues Jorge Emílio Henriques Gomes Marília de Almeida Cavalcante	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909105</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MACROTEXTURA E DRENABILIDADE EM DUAS PISTAS DE POUSO NA REGIÃO DO VALE DO ARAGUAIA	
Thamires Ferreira da Silva	

Lucas Jorge Freitas Marinho  
Augusto Romanini  
Raul Tadeu Lobato Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.0171909106**

**CAPÍTULO 7 ..... 69**

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DE GELATINAS OBTIDAS A PARTIR DAS PELES DE MAPARÁ (*Hypophthalmidae*) E URITINGA (*Arius Proops*)

Élida Viana de Souza  
Jiullie Delany Bastos Monteiro  
Nara Helem Brazão da Costa  
Leliane da Silveira Barbosa Gomes  
Iara Eleni de Souza Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.0171909107**

**CAPÍTULO 8 ..... 77**

CONTROLE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO PLACER DE MINERAIS PESADOS NA REGIÃO PRAIAL AO NORTE DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS (BUJURU, BRASIL)

Bruno Silva da Fontoura  
Adelir José Strieder  
Jéssica Stern Behling  
Rui Sérgio Saraiva Duarte Junior  
Talita Cabelera da Silva  
Paulo Mendes  
Aureliano Augusto Vieira da Nóbrega  
Lauro Julio Calliari

**DOI 10.22533/at.ed.0171909108**

**CAPÍTULO 9 ..... 87**

ESTRUTURA FÍSICA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL PAUTADO EM PROTÓTIPO 8/6

Marcos José de Moraes Filho  
Luciano Coutinho Gomes  
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira  
Darizon Alves de Andrade  
Josemar Alves dos Santos Junior  
Wanberton Gabriel de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.0171909109**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA NA MANGUEIRA EM FUNÇÃO DE SEU ENROLAMENTO

Diogo Henrique Morato de Moraes  
Ricardo Marques da Silva Viegas  
Dione Monteiro de Moraes  
Matheus Henrique Morato de Moraes  
Marcio Mesquita

**DOI 10.22533/at.ed.01719091010**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>109</b>
ÍNDICE DE DESEMPENHO DE MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO CIMENTO PORTLAND SÍLICA DE CASCA DE ARROZ E NANOSSÍLICA COLOIDAL	
Daniel da Silva Andrade Josué Régio Damaceno Laércio Breno Moreira Aline Alves de Almeida João Henrique da Silva Rêgo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091011</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>122</b>
LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISAS CIENTÍFICAS NA ÁREA DAS CIÊNCIAS SOCIAIS SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR PARA O SEGMENTO SUCROENERGÉTICO	
Manoel Gonçalves Filho Clóvis Delboni Reinaldo Gomes da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091012</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>135</b>
MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM ATRAVÉS DA FERRAMENTA POKA YOKE: UM ESTUDO DE CASO NO <i>MCDONALD'S</i>	
Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer Dayse Mendes Douglas Soares Agostinho Felipe Martins Machado Jennifer Evangelista Cavalcante Kellen Coelho dos Santos Marcos Augusto Mendes Marques Marcos Henrique Morais Renatha Querubina de Anevam Rodrigo Ramiro Prior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091013</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>144</b>
MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA UTILIZANDO UMA ABORDAGEM ANALÍTICA	
Régis Sperotto de Quadros Glênio Aguiar Gonçalves Daniela Buske	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091014</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>153</b>
O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE PARABÓLICO	
Emmanoel Guasti Ferreira Marcílio Sousa da Rocha Freitas José Antônio da Rocha Pinto Geraldo Rossoni Sisquini	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091015</b>	

<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>168</b>
RE-EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TOTAL ACID NUMBER ON NAPHTHENIC CORROSION BY ELECTROCHEMICAL NOISE TECHNIQUE	
Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes Alysson Nunes Diógenes Haroldo de Araújo Ponte	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091016</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>179</b>
SLOW-RELEASE FERTILIZER FROM A ROCK CONTAINING GLAUCONITE BY THERMAL PROCESSING WITH ADDITIVES	
Antonio Clareti Pereira Emily Mayer de Andrade Becheleni Marta Ribeiro dos Santos Gomes Sônia Denise Ferreira Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091017</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>190</b>
UMA INTRODUÇÃO AO USO DA INTEGRAL DE DUHAMEL EM SISTEMAS DINÂMICOS ESTRUTURAIS	
Natan Sian das Neves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091018</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>202</b>
USO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ADSORÇÃO COM TURFA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO	
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado Francisco Igor da Costa Freire Andréa Francisca Fernandes Barbosa André Luís Novais Mota Kalyanne Keyly Pereira Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091019</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
UTILIZAÇÃO DE COBERTURA COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE HORTIFRUITI	
Martiliana Mayani Freire Leoclécio Luis de Paiva Laís Barreto Franco Anna Paula Marques Cardoso Gleison Martins Medeiros Raposo Caliane Lília Leite do Nascimento Pedro Fagner Araújo Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091020</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>218</b>
MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE CAIXAS COLETORAS DE DRENAGENS URBANAS NA REGIÃO DO PORTO DE PELOTAS/RS	
Marciano Carneiro Milton Cruz Fernandes	

Angélica Cirolini  
Alexandre Felipe Bruch  
Lenon Silva de Oliveira  
Gabriel da Silva Pontes

**DOI 10.22533/at.ed.01719091021**

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>232</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>233</b>

## USO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ADSORÇÃO COM TURFA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO

### **Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró – RN

### **Francisco Igor da Costa Freire**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró – RN

### **Andréa Francisca Fernandes Barbosa**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró – RN

### **André Luís Novais Mota**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró – RN

### **Kalyanne Keyly Pereira Gomes**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró – RN

**RESUMO:** No processo de produção do petróleo, normalmente é extraído, juntamente com óleo, a chamada água produzida, que consiste de água da formação (água conata) ou de água de injeção. Essa água contém poluentes, os quais representam risco ao meio ambiente, seja pela contaminação do solo ou aquíferos ou ainda podem ocasionar incrustações e corrosão em tubulações, devido aos sais

presentes. Diante disso, medidas devem ser tomadas para prevenir possíveis danos. Uma das principais preocupações é a remoção do óleo disperso na água. A adsorção, atualmente, vem sendo bastante estudada para este fim. Estudos recentes concentram-se em encontrar adsorventes economicamente viáveis e que apresentem eficácia satisfatória no processo de adsorção aplicado na remoção de poluentes de efluentes aquosos. Contribuindo para estes estudos, o presente trabalho se propôs a analisar a eficiência da turfa na remoção da turbidez de um efluente oleoso. Foi aplicado um planejamento experimental, composto central rotacional, utilizando o sistema de banho finito para obtenção de dados. Verificou-se a influência de duas variáveis, pH e massa de adsorvente, em função do porcentual de remoção de turbidez de um efluente sintético, preparado de forma a simular a água produzida em poços de petróleo. A turfa apresentou bons resultados na remoção de turbidez do efluente produzido. As condições ótimas de operação foram determinadas com 2,79 gramas de turfa e um pH igual a 5,44, obtendo um total de 86,89% de remoção da turbidez.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção, Efluente oleoso, Turfa.

**ABSTRACT:** In the oil production it is usually extracted the so-called produced water, which

consists of connate water or injection water. This water contains pollutants, which pose a risk to the environment by soil or aquifer contamination or fouling and pipe corrosion due to the salts. Therefore, measures must be taken to prevent possible damage. One of the main concerns is the removal of oil dispersed in water. Adsorption is currently being studied for this purpose. Recent studies focus on finding economically viable adsorbents that have satisfactory efficacy in adsorption process applied in the removal of pollutants from aqueous effluents. Contributing to these studies, the present work aimed to analyze the efficiency of peat in turbidity removal from an oily effluent. An experimental design (rotational central composite) was applied using the finite bath system to obtain data. The influence of two variables, pH and adsorbent mass was verified as a function of the turbidity removal percentage of a synthetic effluent, prepared to simulate the oilfield water produced. The peat showed good results in turbidity removal from the effluent produced. Optimum operating conditions were determined with 2.79 grams of peat and 5.44 of pH, achieving 86,89% turbidity removal total.

**KEYWORDS:** Adsorption, Oily Effluent, Peat

## 1 | INTRODUÇÃO

Durante o processo de produção de um poço de petróleo, quando o óleo é recuperado do reservatório, ocorre também a produção de água. Chamada de água produzida, a mesma apresenta uma mistura complexa de compostos químicos, orgânicos e inorgânicos destacando-se a presença de sais, partículas de óleo em suspensão e dissolvidos, metais pesados, ácidos e sólidos suspensos. Devido ao seu alto poder de contaminação, a água produzida não tratada representa risco ao meio ambiente, seja pela contaminação do solo ou de aquíferos, podendo também ocasionar incrustações e corrosão em tubulações, devido aos sais presentes.

Independentemente do destino dado à água produzida, é necessário que ela seja submetida a tratamentos específicos a fim de enquadrar seus parâmetros às exigências técnicas, operacionais e ambientais (MOTTA *et al.*, 2013). Sendo assim, diante de grandes volumes de efluentes, é expressivo o custo que isto representa para as empresas da indústria de petróleo.

Atualmente, a adsorção vem sendo aplicada em processos de purificação e separação e a indústria de petróleo vem frequentemente fazendo uso de adsorventes em tratamentos de efluentes como também estudando sua eficiência. Logo, tornou-se importante buscar materiais eficientes, de fácil obtenção e baixo custo.

A turfa é uma substância fóssil, organo-mineral, originada da decomposição de restos vegetais, encontrada em áreas alagadiças (FANCHI, 2004). É um material poroso com elevada capacidade de adsorção para metais de transição e moléculas orgânicas polares (PETRONI; PIRES; MUNITA, 2000).

Morais *et al.*, (2016) avaliaram o tratamento de água produzida sintética usando turfa como adsorvente, visando verificar a eficiência do material no processo de

remoção de turbidez da água. Os autores realizaram os ensaios em banho finito usando 5 gramas de turfa natural e hidrofobizada com faixas granulométricas de -10+16 e -16+30 e observaram que a remoção de turbidez foi satisfatória utilizando os dois tipos de materiais, confirmando a capacidade da turfa para ser aplicada no tratamento de água produzida. O material hidrofobizado de menor granulometria (-16+30) apresentou maior capacidade na remoção de turbidez do fluido sintético

O planejamento experimental representa um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema. Neste trabalho foi elaborado um planejamento fatorial  $2^2$  ampliado em estrela, também chamado de composto central rotacional. Este planejamento compreende 4 pontos do planejamento experimental  $2^2$ , mais 4 pontos axiais referentes à ampliação em estrela e 3 pontos centrais para verificação do erro, perfazendo um total de 11 experimentos (MOTA, 2010).

A partir dessas informações, o presente trabalho tem como objetivo geral usar o planejamento experimental fatorial ampliado em estrela a fim de otimizar as variáveis do processo de adsorção com turfa para remoção de turbidez de efluente sintético oleoso, visando aplicação em água produzida em campos de petróleo.

## **2 | METODOLOGIA**

### **2.1 Planejamento experimental**

As variáveis escolhidas para análise foram massa de adsorvente e pH, que afetam diretamente no processo de adsorção. Obteve-se os valores das variáveis codificadas (máximas, -1, e mínimas, +1, além dos pontos axiais, -1,41 e +1,41) referentes à massa de turfa ( $X_1$ ) e ao pH ( $X_2$ ) utilizados nos experimentos. Os valores de pH ( $X_2$ ) foram escolhidos a fim de estudar a adsorção em meio ácido e básico.

### **2.2 Preparação do efluente sintético**

Um efluente aquoso foi preparado com concentração de 20% de óleo diesel S500 e ficou sob agitação por 60 minutos para homogeneização da mistura água-óleo. Após agitação, o fluido foi colocado para decantar em funil de separação a fim de separar as duas fases (óleo em excesso e fase aquosa). A fase aquosa foi utilizada nos experimentos. A partir desse fluido foram preparadas um total de 11 experimentos, nas condições experimentais definidas pelo planejamento experimental.

### **2.3 Ajuste do pH dos experimentos**

Inicialmente, realizou-se a medida do pH do efluente sintético e para seguir o planejamento foram ajustados os pHs das misturas (fluido + adsorvente). A depender do pH desejado, foi usado hidróxido de sódio (NaOH) e/ou ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) para ajuste. As análises foram realizadas usando um medidor de pH.

## 2.4 Ensaio em banho finito

Após o ajuste do pH, as misturas (fluido + material adsorvente) em frascos de Erlenmeyer de 250 mL foram postas na incubadora *shaker*, a uma temperatura constante de 30 °C com rotação orbital de 150 rpm por período de 15 horas, que consiste no sistema de banho finito,. Após o tempo de agitação, as amostras permaneceram em repouso durante 5 horas para a decantação do material. Em seguida, com ajuda de uma seringa, foi coletado o fluido sobrenadante para análise da turbidez.

## 2.5 Determinação do potencial de adsorção pelo método da turbidez

O potencial de adsorção foi avaliado qualitativamente, através da técnica da turbidez, utilizando um turbidímetro. Foi analisada a turbidez de cada amostra após o banho finito, a fim de compará-las ao valor inicial apresentado pelo efluente sintético.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 apresenta-se os valores das variáveis codificadas (máximas, -1, e mínimas, +1, além dos pontos axiais, -1,41 e +1,41 e do ponto central) referentes à massa de turfa ( $X_1$ ) e ao pH ( $X_2$ ).

Variáveis	Código	Níveis				
		-1,41	-1	0	1	1,41
Massa de turfa (g)	$X_1$	3,27	4,13	6,19	8,26	9,11
pH	$X_2$	2,93	3,80	5,90	8,00	8,87

Tabela 1. Valores das variáveis codificadas e reais.

A turbidez inicial do efluente sintético foi de 443 NTU (*Nephelometric Turbidity Unity*). Os resultados de remoção de turbidez utilizando a turfa estão apresentados na Tabela 2 em termos de percentual de turbidez removida.

Ensaio	Massa (g)	pH	% Rem.
1	3,27	5,90	57,11
2	9,11	5,90	82,87
3	4,13	8,00	0,00
4	4,13	3,80	99,29
5	8,26	3,80	98,80
6	8,26	8,00	92,12
7	6,19	2,93	99,36
8	6,19	8,87	95,35
9	6,19	5,90	79,05
10	6,19	5,90	79,75
11	6,19	5,90	80,00

Tabela 2. Valores de remoção de turbidez obtidos utilizando a turfa como adsorvente.

% Rem.= % Removido

Para o ensaio 3, a combinação da massa e pH não contribuiu para remoção de turbidez, foi obtido um valor maior que a turbidez inicial do efluente sintético, portanto, não houve remoção.

Foi gerado um modelo matemático (Eq. 1), que relaciona o percentual de turbidez removido com as duas variáveis em estudo, massa de adsorvente em gramas ( $X_1$ ) e pH ( $X_2$ ).

$$\%Rem. = 79,6000 + 16,0075X_1 - 13,9551X_2 - 7,5850X_1^2 + 6,0975X_2^2 + 23,1525X_1X_2 \quad (Eq.1)$$

A Figura 1 mostra o diagrama de Pareto, que representa o grau de influência das variáveis estudadas sobre a remoção de turbidez (variável resposta em % de turbidez removida).

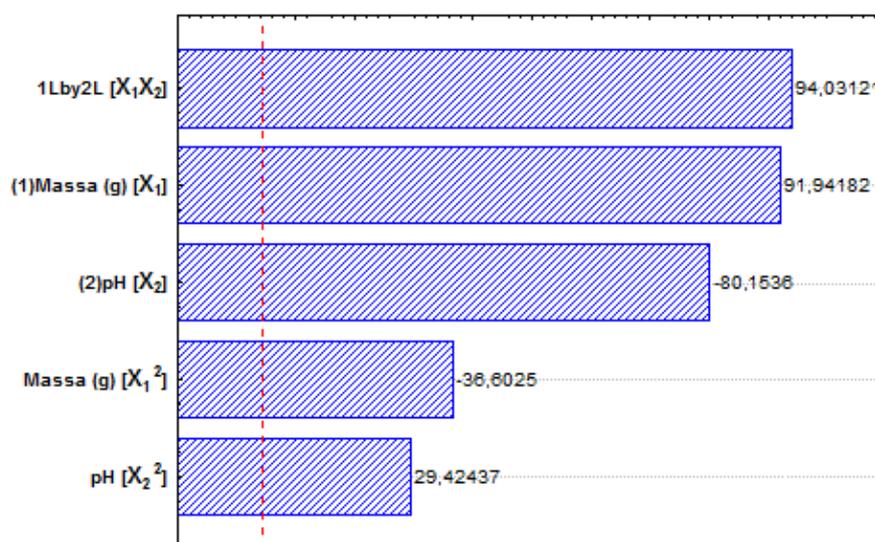


Figura 1. Gráfico de Pareto utilizando turfa como adsorvente.

Analisando o gráfico de Pareto, nota-se que todas as variáveis estudadas são influentes sobre o percentual de turbidez removido, que é a variável resposta, pois todas elas ultrapassam a linha de  $p = 0,05$ . Em uma análise mais detalhada, observa-se que o termo linear para massa ( $X_1$ ) apresenta influência sobre a resposta de forma positiva, ou seja, quanto maior for o valor maior será o percentual de remoção de turbidez (variável resposta). Verifica-se ainda que o termo linear do pH ( $X_2$ ) apresenta influência sobre a remoção de turbidez de forma negativa. Portanto, quanto maior for o pH menor será a porcentagem de turbidez removida. O termo de maior influência sobre a variável resposta é o termo linear que relaciona as duas variáveis ( $X_1X_2$ ) e quanto maior for seu valor maior o será o valor da resposta ().

As Figuras 2 e 3 apresentam respectivamente o gráfico da superfície de resposta e as curvas de nível para os resultados obtidos. A partir destas, é possível analisar de uma forma mais geral a influência que a massa de adsorvente e o pH da solução tem sobre a adsorção pela turfa e conseqüentemente sobre a remoção de turbidez. Além disso, é possível identificar também o ponto ótimo de operação, ou ponto de maior

valor para a resposta.

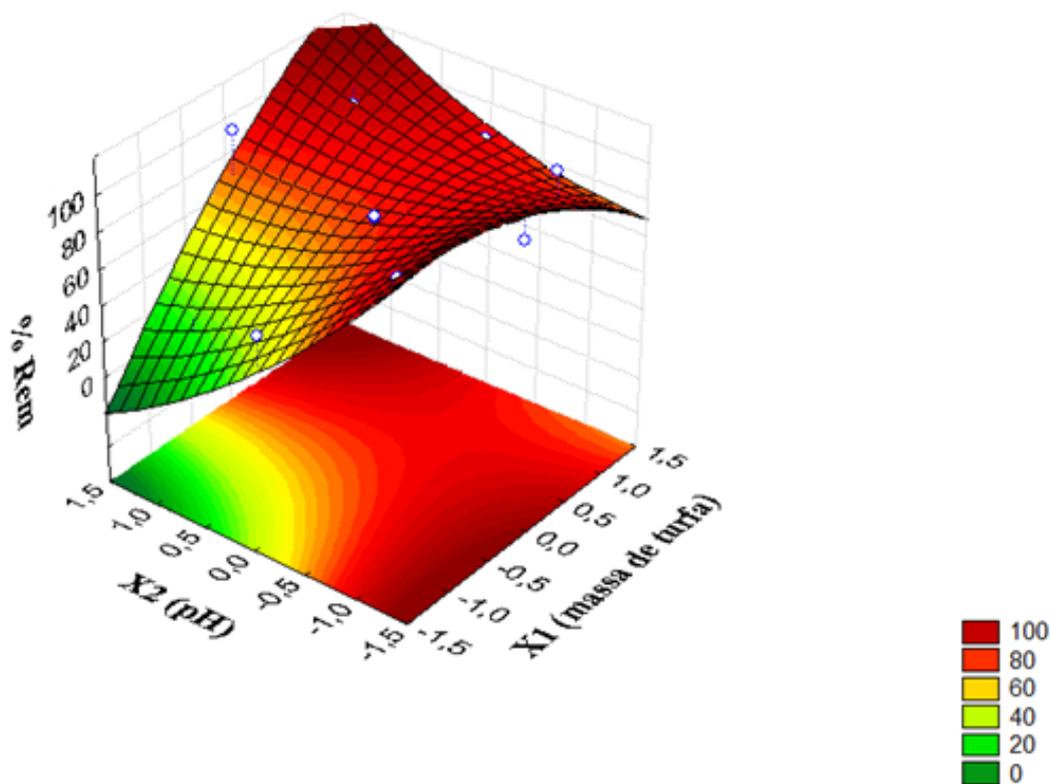


Figura 2. Gráfico da Superfície de Resposta para a remoção de turbidez usando a turfa.

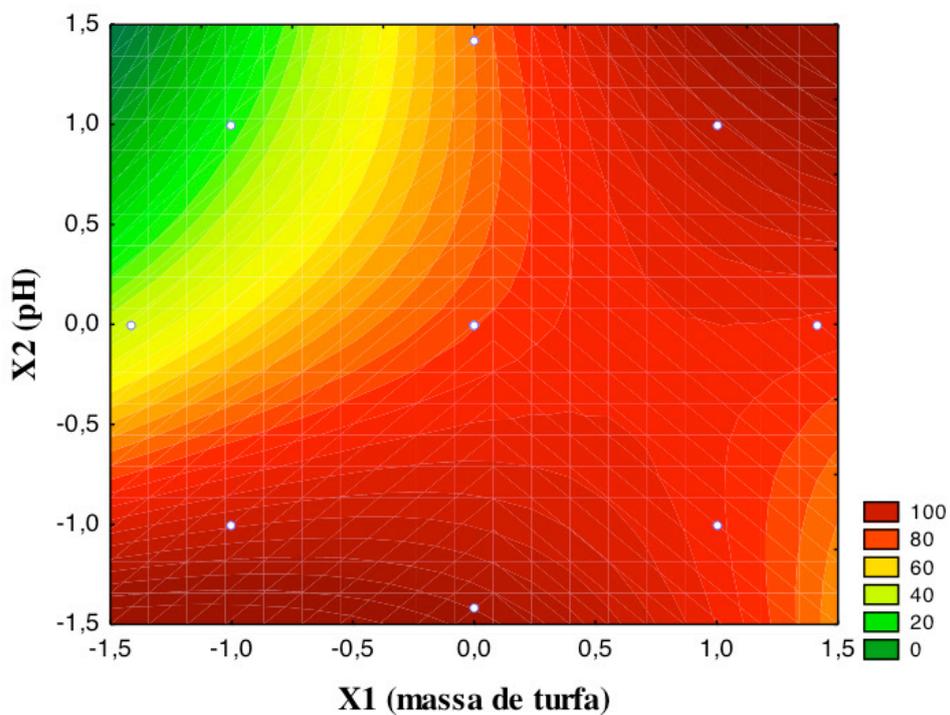


Figura 3. Gráfico de contorno para as variáveis estudadas com valores codificados utilizando turfa para remoção de turbidez.

Ao analisar as figuras 2 e 3 verifica-se que a porcentagem de remoção de turbidez, que é a variável resposta, aumenta significativamente com a influência

combinada das duas variáveis, como observado no gráfico de Pareto (Figura 1). Os mais altos resultados são observados quando o pH e massa da turfa são mais elevados ou mais baixos, concomitantemente. Para o caso em que o pH é elevado e a massa de adsorvente é baixa, o valor de remoção é insatisfatório. Nos casos em que a massa de adsorvente é elevada e o pH é mais baixo o percentual de remoção também apresenta resultados satisfatórios, retomando ao observado na Figura 1 onde ficou claro a grande influência positiva que  $X_1$  (massa de adsorvente) tem sobre a variável resposta. O ponto ótimo de operação determinado pelo modelo é com 2,79 gramas de turfa ( $X_1 = 0,71883$ ) e um pH igual a 5,44 ( $X_2 = -0,22039$ ), obtendo um percentual de remoção de turbidez de 86,89%. Esses valores são inferiores aos obtidos em determinadas condições experimentais. Isto foi devido à não obtenção da superfície de resposta adequada para a correta determinação da condição ótima para este de modelo. Como pode ser observado também pelo gráfico crescente da Figura 2, as condições ótimas ainda não foram alcançadas, necessitando mudanças nas condições de máximos e mínimos do planejamento experimental para obtenção mais precisa das condições ótimas experimentais.

No estudo da adsorção de zinco e cádmio usando turfa como adsorvente (PETRONI; PIRES; MUNITA, 2000), os autores concluíram que a turfa é capaz de adsorver 99% desses metais em solução numa faixa de pH de 3,7 a 6,5.

A análise da variância dos resultados está apresentada na Tabela 3. Verificou-se que o modelo apresentou coeficiente de determinação não muito satisfatório, pois o  $R^2$  explica 77,52 % da variação total das respostas. O modelo apresenta-se como significativo, uma vez que o  $F_{cal} > F_{tab}$ , porém o  $F_{cal} / F_{tab}$  não é maior que 10 em um dos resultados, logo, o mesmo é não preditivo. Esse modelo também apresentou falta de ajuste (teste F maior que 1). Apesar de significativo estatisticamente, o modelo não é capaz de prever os resultados e necessita de alterações para minimizar a falta de ajuste.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	$F_{calculado}$ (95%)	$F_{tabelado}$ (95%)	$F_{cal} / F_{tab}$
Regressão	6505,71	4	1626,43	5,17	4,53	1,14
Resíduos	1886,16	6	314,36			
Falta de Ajuste	1885,67	4	471,42	1943,99	19,25	100,99
Erro puro	0,4850	2	0,24			
Total	8391,87	10				
% de variação explicada:		77,52	%			
% máxima variação explicável:		99,99	%			

Tabela 3. Análise de variância para a porcentagem de remoção de turbidez usando a turfa.

A Figura 4 apresenta o diagrama de dispersão dos valores calculados em função

dos valores observados e o ajuste da regressão (linha sólida), com um intervalo de confiança de 95 % para o percentual de remoção de turbidez. Como quase todos os pontos estão dentro do limite de confiança estabelecido (área entre linhas tracejadas) e se agrupam em torno da linha de tendência, a regressão foi estatisticamente significativa. A repetição dos experimentos, cujos pontos estão fora do limite de confiança, pode melhorar  $R^2$  e eliminar um possível erro experimental.

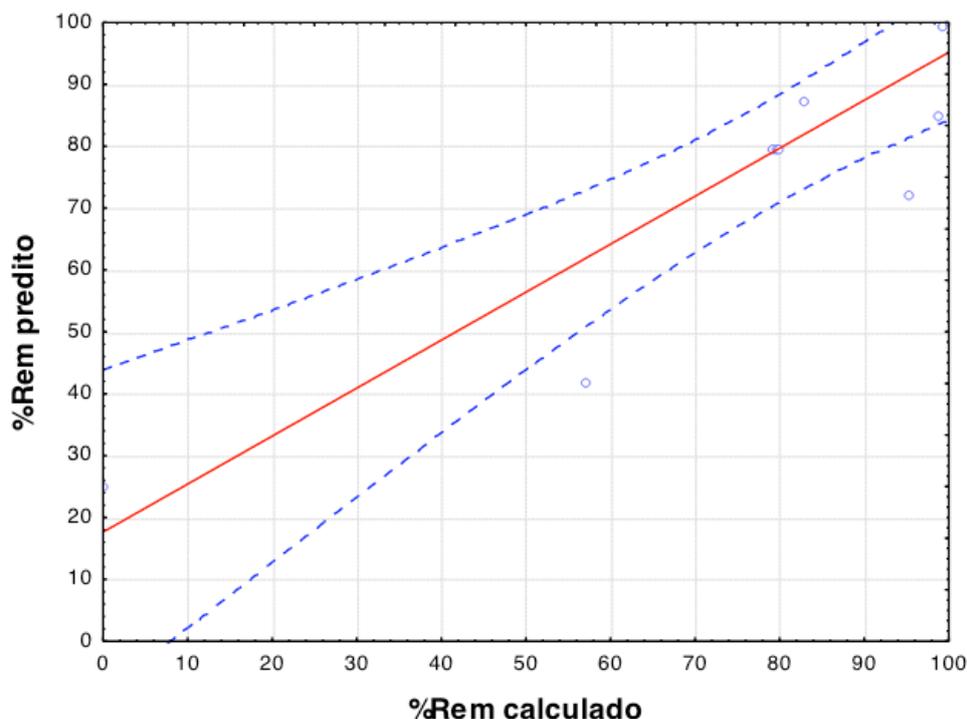


Figura 4. Diagrama de dispersão dos valores de remoção de turbidez preditos em função dos valores calculados para a turfa.

#### 4 | CONCLUSÕES

O planejamento experimental realizado mostrou-se significativo, permitindo a análise do comportamento da massa de turfa (adsorvente) e pH sobre a porcentagem de remoção de turbidez do efluente oleoso. A falta de ajuste do planejamento foi provavelmente devida ao ensaio que não apresentou remoção de turbidez (ensaio 3).

Verificou-se que o pH influenciou o processo de adsorção negativamente e a quantidade de massa positivamente. A turfa no pH ácido apresenta uma maior adsorção, devido aos seus sítios ativos serem propícios a uma solvatação do contaminante no meio ácido. Porém, a porcentagem de remoção de turbidez aumenta significativamente com a influência combinada das duas variáveis. Os maiores resultados de remoção foram observados quando o pH e massa de turfa eram mais elevados ou quando eram mais baixos, concomitantemente. O ponto ótimo de operação obtido pelo modelo foi com 2,79 gramas de turfa e um pH igual a 5,44, perfazendo um total de 86,89% de remoção da turbidez. Apesar da superfície de resposta obtida pelo modelo ser

crescente, indicando que as condições experimentais de máximos e mínimos usadas para criação do modelo não foram muito adequadas para este tipo de planejamento experimental, os resultados obtidos são de grande relevância, pois indica a tendência de melhores condições experimentais.

Devido aos bons resultados de remoção de turbidez do efluente oleoso com uso da turfa, conclui-se que esse tipo de material apresenta elevado potencial para ser aplicado no tratamento da água produzida em campos de petróleo.

## 5 | AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA e ao CNPq pela concessão da bolsa.

## REFERÊNCIAS

FRANCHI, J. G. **A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados**: O exemplo da contaminação da bacia do rio Ribeira de Iguape por chumbo e metais associados. São Paulo, 2004.

MORAIS, D. R. P.; BRASIL DELGADO, R. C. O.; MOTA, A. L. N.; SANTIAGO, R. C.; DEUS, C. A. B.; DOMINGOS, I. S. **Análise de Redução de Turbidez de Água Produzida Sintética Utilizando Turfa como Material Adsorvente**. Rio Oil & Gas Expo and Conferense. Rio de Janeiro, 2016.

MOTA, A. L. N. **Desenvolvimento de um sistema foto-oxidativo visando aplicação no tratamento de águas produzidas em Campos de Petróleo**. 158f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C.P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. DA P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.18, n.1, p.15-26, 2013.

PETRONI, S. L. G.; PIRES, M. A. F.; MUNITA, C. S. Adsorção de zinco e cádmio em colunas de turfa. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p.477-481, Bimestral. 2000.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 38, 39, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Agregado artificial 1, 11, 13

### B

Biomassa 47, 49, 52, 54

Bloco estrutural 13, 20

### C

Cimento Portland 3, 113, 120

Concreto reciclado 1, 13, 15

Controle estrutural 77, 80, 84, 85

Corrosão 202, 203

### D

Desperdícios 127, 135, 140, 142

Dinâmica estrutural 190, 191, 200

Drenabilidade 55, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68

Drenagem urbana 218, 219, 231

### E

Energia 14, 27, 38, 43, 47, 52, 53, 54, 96, 97, 98, 103, 115, 126, 127, 133, 232

Ensino 139, 190, 232

### F

Farinha de mandioca 47, 49, 50, 52, 54

### I

Índice de confiabilidade 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 165, 166

Inovação 76, 122, 124, 125, 126, 127, 232

Irrigação 99, 100, 108

### M

Madeira 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 51, 52

### N

Nanossílica 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

### P

Pozolana 109, 110

Propriedade mecânica 25, 27

Propriedades físicas 25, 26, 27, 28, 71, 111

## **R**

Resíduos 1, 2, 4, 10, 12, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 47, 49, 52, 53, 54, 69, 70, 71, 72, 74, 76, 110, 208, 229

Resíduos de pneu 13, 15

## **S**

Sílica de casca de arroz 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120

Solução analítica 144, 151

Sustentabilidade 1, 14, 24, 35, 74, 127, 138, 142, 232

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-701-7



9 788572 477017