

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA AMBIENTAL



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA AMBIENTAL



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



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



Coleção desafios das engenharias: engenharia ambiental

Diagramação: Gabriel Motomu Teshima
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-799-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.991212112>

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

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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



DECLARAÇÃO DA EDITORA

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



APRESENTAÇÃO

O e-book: “Coleção desafios das engenharias: Engenharia ambiental” apresenta onze capítulos de livros que foram divididos em duas temáticas: *i*) recuperação e preservação do meio ambiente em seus diferentes ecossistemas e *ii*) desenvolvimento e aplicação de diferentes técnicas de tratamento para remoção de diferentes contaminantes nas mais diversas matrizes aquáticas e os riscos à saúde pela poluição atmosférica proveniente da combustão de biocombustíveis, madeira e tabaco.

O primeiro tema é constituído por seis capítulos que apresentam estudos bem diversificados. O capítulo I apresenta um estudo de caso em relação à compensação ambiental proveniente da instalação de barragem de terra. No segundo, foi investigado a proposta de implementar um programa de recuperação ecológica dos manguezais. Já o terceiro apresenta um estudo de revisão em relação ao descarte inadequado de medicamentos e as inúmeras consequências aos diferentes ecossistemas e organismos vivos. O quarto capítulo apresentou um estudo que avaliou a abertura de novas fontes de águas termais com o intuito de atrair turistas e possibilitar a geração de emprego e renda a partir da abertura destas novas fontes de águas termais localizados em uma região de Portugal. Já o quinto capítulo apresenta um estudo que avaliou a implantação de um sistema fotovoltaico com o intuito de utilizar uma fonte de energia inesgotável em substituição às hidrelétricas e as térmicas que são extremamente caras e oferecem um enorme impacto ambiental se comparado a solar. Por fim, o capítulo VI se dedicou a correlacionar as mudanças climáticas com aspectos hidrofísicos em relação a morfologia das inúmeras bacias hidrográficas.

O segundo tema apresenta cinco capítulos que investigaram diferentes formas de tratamento de matrizes aquosas e os riscos provenientes da combustão de matéria orgânica. O capítulo VII avaliou a aplicação do tratamento hidrotérmico para reduzir a podridão peduncular, o que resultaria no maior tempo para estar se consumindo o fruto o que levaria a redução no descarte deste alimento. O capítulo VIII avaliou o tratamento de águas residuárias de um laticínio utilizando um Reator de Leito Móvel com Biofilme (MBBR). Já o capítulo IX apresenta um trabalho que teve como finalidade realizar o tratamento de efluentes provenientes do setor agroindustrial dentro do cenário brasileiro. Por outro lado, o capítulo X aborda o emprego de Processos Oxidativos Avançados (POAs) para realizar a remoção de antibióticos e hormônios detectados em águas superficiais e efluentes domiciliares. Por fim, o capítulo XI que traz à tona a poluição atmosférica provenientes da combustão de biocombustíveis, lenha, tabaco e outros e sua relação com os inúmeros problemas de saúde em especial os respiratórios.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos

com garantia de qualidade e excelência em forma de livros e capítulos de livros que são disponibilizados no site da Editora e em outras plataformas digitais com acesso gratuito.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

COMPENSAÇÃO AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA

Eduardo Antonio Maia Lins
Karina Moraes de Albuquerque
Adriane Mendes Vieira Mota
Andréa Cristina Baltar Barros
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121121>

CAPÍTULO 2..... 14

RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DE MANGUEZAIS EM SISTEMA DE CONFINAMENTO CELULAR (GEOCÉLULAS): ESTUDO DE CASO EM ÁREA PORTUÁRIA NO GOLFÃO MARANHENSE, BRASIL

Flávia Rebelo Mochel
Ivanilson Luís Alves Fonsêca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121122>

CAPÍTULO 3..... 27

DESCARTE INCORRETO DE MEDICAMENTOS: MAU HÁBITO SOCIAL, IRRESPONSABILIDADE NA LOGÍSTICA REVERSA, AUSÊNCIA DE FISCALIZAÇÃO/ LEGISLAÇÃO E OS INÚMEROS DANOS AMBIENTAIS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Bruno Elias dos Santos Costa
Anelise dos Santos Mendonça Soares
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121123>

CAPÍTULO 4..... 38

ESTUDOS HIDROGEOAMBIENTAIS NUMA REGIÃO DO INTERIOR DE PORTUGAL PARA POTENCIALIZAR O NASCIMENTO DE UMAS NOVAS TERMAS

André Manuel Machado Fonseca
Luís Manuel Ferreira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121124>

CAPÍTULO 5..... 52

IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO – ESTUDO DE CASO

Eduardo Antonio Maia Lins
Juliana Viana Machado de Castro
Adriane Mendes Vieira Mota
Andréa Cristina Baltar Barros
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121125>

CAPÍTULO 6.....58

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA HIDROFÍSICA DA MORFOLOGIA QUANTITATIVA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Lazaro Nonato Vasconcellos de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121126>

CAPÍTULO 7.....69

TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NO CONTROLE DE PRODRIDÃO PEDUNCULAR EM MAMÃO PAPAYA

Gabriela Sales Mangolin

Érica Tiemi Konda

Rafaella Zambelli Baptista

Rosely dos Santos Nascimento

Daniel Terao

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121127>

CAPÍTULO 8.....77

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE LATICÍNIO EM REATORES DE LEITO MÓVEL COM BIOFILME (MBBR)

Cíntia Clara Viana

Marcelo Henrique Otenio

Henrique Vieira de Mendonça

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121128>

CAPÍTULO 9.....93

WETLANDS CONSTRUÍDOS COMO SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA APLICADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS NO BRASIL

Heloísa Dalla Rosa

Gabriel André Tochetto

Gean Delise Leal Pasquali

Adriana Dervanoski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121129>

CAPÍTULO 10.....109

TECNOLOGIAS AVANÇADAS PARA A REMOÇÃO DE ANTIBIÓTICOS E HORMÔNIOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E EFLUENTES DOMÉSTICOS

Aline Paula Scussel

Gabriel André Tochetto

Adriana Dervanoski

Gean Delise Leal Pasquali

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99121211210>

CAPÍTULO 11.....126

LA CONTAMINACIÓN INTRAMUROS DEL HUMO DE BIOMASA

Demetrio Soto Carbajal

Andrés Zózimo Ñahui Gaspar

Hipólito Vargas Sacha
Eden Soto Aparco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99121211211>

SOBRE O ORGANIZADOR:	140
ÍNDICE REMISSIVO	141

RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DE MANGUEZAIS EM SISTEMA DE CONFINAMENTO CELULAR (GEOCÉLULAS): ESTUDO DE CASO EM ÁREA PORTUÁRIA NO GOLFÃO MARANHENSE, BRASIL

Data de aceite: 01/11/2021

Flávia Rebelo Mochel

Universidade Federal do Maranhão- UFMA
Depto. Oceanografia e Limnologia- DEOLI, Av.
dos Portugueses, 1966
Maranhão, Brasil
ORCID 0000-0001-5911-3171

Ivanilson Luís Alves Fonsêca

UMI SAN Serviços de Apoio à Navegação
Vila Velha – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/8582427423442319>

RESUMO: Para restaurar uma área de manguezal degradada por atividades portuárias e dragagem, foi realizada a supressão de 1,5 ha de manguezais, para estabilização do talude costeiro. Foi executado um Plano de Recuperação de Área Degradada que incluiu um Projeto de Engenharia Ambiental e Atividades Ecológicas e Biológicas que determinou o uso de Sistema de Confinamento Celular (Geocélulas) com plantio de mudas de manguezais sobre ele, para redução de riscos de novos deslizamentos e recuperação do ecossistema atingido. Foram realizadas coletas de propágulos, produção de mudas em viveiro e plantio de mudas dentro das geocélulas. A altura da muda (H) e o diâmetro na base (DAB) foram medidos, os dados de herbivoria, fenologia e mortalidade foram calculadas e monitoradas, bem como pH e salinidade de sedimentos sobre o local de restauração (geoweb) durante 4 anos. O uso de sistema de confinamento celular (geocélulas)

demonstrou ser a alternativa que mais segura para a recuperação do manguezal local. Os estudos hidrodinâmicos solicitados revelaram uma zona de muito baixa energia, confirmando relatórios periciais anteriores que apontaram uma elevada deposição de sedimentos, com tendência a acumulação (assoreamento). As geocélulas tendem a diminuir a energia hidrodinâmica local, fato importante para acelerar a deposição de sedimentos e favorecer o processo de restauração do manguezal. Em 4 anos, as 3 espécies plantadas nas geocélulas se desenvolveram com altura superiores a 10 metros, floresceram, reproduziram e exportaram propágulos ao longo da zona costeira.

PALAVRAS-CHAVE: restauração ecológica, restauração de manguezal, geoweb

ECOLOGICAL RESTORATION OF MANGROVES IN CELLULAR CONFINEMENT SYSTEM (GEOWEB): A CASE STUDY IN A PORT AREA OF GOLFAO MARANHENSE, BRAZIL

ABSTRACT: In order to restore a mangrove area damaged by dredging activities Removal up to 1.5 ha of mangrove trees, for slope stabilization. Environmental Engineering Project and Ecological and Biological activities for Slope stabilization with geoweb for further mangrove plantation were designed and carried out. Propagule collection and nursery grown seedlings for mangrove restoration were accomplished. Plant height (H) and the diameter at the base (DAB) were measured, leaf herbivory, phenology and mortality data were calculated and monitored, as

well sediment pH and salinity over the restoration site (geoweb) during 4 years. The use of cell confinement system (geoweb) proved to be the safest alternative for restoring the local mangrove. The hydrodynamic studies requested revealed a very low energy zone, confirming previous expert reports that indicated a high sediment deposition, with a tendency to accumulation (siltation). The Geoweb system tended to decrease local hydrodynamic energy, an important fact to accelerate sediment deposition and favor the mangrove restoration process. In 4 years, the 3 species planted in the geoweb system developed with height upper than 10 meters, flourished, reproduced and exported propagules along the coastal zone.

KEYWORDS: mangrove restoration, geoweb, ecological restoration

1 | INTRODUÇÃO

A recuperação ecológica é uma atividade intencional para iniciar ou acelerar o restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2004). A recuperação de um ecossistema pode se realizar quanto:

- ao seu funcionamento: quando se restabelecem os processos ecossistêmicos,
- a sua integridade: quando se restabelece a composição das espécies, a estrutura das comunidades do ecossistema;
- a sua sustentabilidade: quando se restabelece sua resistência às perturbações e sua resiliência ecossistêmica. (SER, 2004)

A Legislação brasileira exige a recuperação de áreas degradadas, desde a Constituição Federal de 1988, e que orientada por um plano técnico de ações de recuperação, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD (MOCHEL E FONSÊCA, 2019; ALMEIDA, 2016). Há conceitos diferenciados entre recuperação, restauração, reabilitação sendo que para o MMA (2019) a restauração busca restituir o ecossistema o mais próximo possível de suas condições originais. Para Cairns (1988) e Viana (1990) o termo recuperação ecológica compõe-se das categorias restauração e reabilitação, sendo restauração semelhante ao conceito de MMA (2019) e reabilitação é termo dado aos procedimentos que buscam recuperar uma ou mais as funções, processos do ecossistema.

Este artigo aborda um estudo de caso de recuperação de manguezais sobre sistema de confinamento celular (geocélulas) para contenção de um talude costeiro numa área portuária da Baía de São Marcos.

As geocélulas são estruturas flexíveis, com aparência de favos de colméias, vazadas, permitindo trocas de água e nutrientes, que se estendem sobre um geotêxtil, dispondo-se como uma “manta” sobre a superfície que se pretende estabilizar. Os “favos” podem ser preenchidos com vários tipos de material, e no caso de uso da vegetação, são preenchidos com sedimentos, terra ou outros. Sobre esse sedimento a vegetação é plantada e monitorada. São consideradas até a atualidade a solução de primeira escolha para erosão em corpos hídricos costeiros e continentais, preservando a qualidade de solos (SHEIKH & SHAH, 2021).

No Brasil, as experiências com o uso de geocélulas em áreas de marés são poucas, e não se conhece, ainda, nenhuma utilizada em recuperação de manguezais degradados. No mundo, essa experiência é bastante recente e já tem sido utilizada com sucesso. Destacam-se os trabalhos de Shabica *et. al*, (2010); Jackson *et alii*. (2004; 2005) em ambientes pantanosos, ribeirinhos, recifais, costeiros e marinhos do Golfo Pérsico. Esses autores destacam que o uso de geotêxteis promoveu melhor recomposição da biota do que outros materiais. Outros usos em regiões de manguezais, pântanos e marismas são encontrados no Golfo do México e na Florida (FWS, 2021).

ESTUDO DE CASO

Durante uma operação de dragagem para o aprofundamento do calado portuário em cerca de 13,0 metros de profundidade, após se alcançar uma cota aproximada de 8 metros, ocorreu um afundamento e um deslizamento de aproximadamente 0,3 ha de uma área de manguezal, adjacente às áreas construídas. A distância da draga para o manguezal, no momento da vistoria era de cerca de 50 metros. Essa situação necessitou remover as árvores mortas que colocavam em risco a navegação de embarcações e as atividades de pesca tradicional na região. O Plano de Recuperação de área Degradada – PRAD definiu 3 etapas de trabalho, incluindo a necessidade de estabilização do talude do manguezal remanescente, totalizando 1,5 ha de área.

Etapas do PRAD:

FASE 1- remoção e destinação final do manguezal atingido (0.3 ha).

FASE 2- remoção e destinação final do manguezal para estabilização do talude (~1.2 ha).

FASE 3- estabilização do talude com geotêxtil e recuperação do manguezal (produção de mudas e plantios) em sistema de confinamento celular (geocélulas).

Estudos de geotécnicos e de engenharia para estabilização do talude

O princípio que norteou os estudos geotécnicos e de engenharia para a estabilização do talude na área do manguezal baseou-se na premissa de que as soluções mais adequadas deveriam atender tanto o aspecto ambiental quanto a viabilidade técnica e operacional. Portanto, a melhor alternativa deveria atender as seguintes premissas:

1. Menor impacto geoambiental (com estudos hidrodinâmicos)
2. Garantir estabilidade das estruturas portuárias construídas
3. Minimizar riscos de execução / monitoramento futuro
4. Considerar a necessidade de dragagem até cota – 13m
5. Ser aprovada junto aos órgãos ambientais

Os estudos de geotécnica e engenharia apontaram três alternativas de contenção

do talude:

1. Alternativa de estacas-prancha
2. Alternativa de enrocamento
3. Alternativa de sistema de confinamento celular

A utilização de estruturas rígidas, como a estaca-prancha, foi descartada por motivos principalmente ambientais, com a possibilidade de alterações no padrão de circulação das águas, nas velocidades de correntes de marés e na dinâmica de deposição de sedimentos. Essas alterações trariam dificuldades adicionais à recuperação do manguezal, podendo comprometer seu êxito.

A alternativa do uso de enrocamento também foi descartada por motivos tanto ambientais (alterações hidrodinâmicas e ecológicas) quanto operacionais, no tocante ao difícil fornecimento do material rochoso.

O uso de sistema de confinamento celular (geocélulas) é a alternativa que se apresenta mais segura para a recuperação do manguezal local. Os estudos hidrodinâmicos solicitados revelaram uma zona de muito baixa energia, confirmando relatórios periciais anteriores que apontaram uma elevada deposição de sedimentos, com tendência a acumulação (assoreamento). As geocélulas tendem a diminuir a energia hidrodinâmica local, fato importante para acelerar a deposição de sedimentos e favorecer o processo de restauração do manguezal.

Após análises das alternativas, dos estudos hidrodinâmicos e das experiências na utilização de geocélulas em ambientes e ecossistemas similares, e considerando as dificuldades operacionais e de segurança do ambiente local, indicou-se o uso do sistema de confinamento celular (geocélula) na estabilização e recuperação do manguezal local.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo situou-se em um manguezal na foz do Rio dos Cachorros, nas coordenadas geográficas 020°40'39"S e 440°21'28"W, município de São Luís, e inserida na Baía de São Marcos, pertencente ao Golfão Maranhense (Figura 1).

Nessa área de manguezal ocorreu um deslizamento de uma área de 0,3 hectares de manguezal, após a operação de dragagem local atingir a cota – 8m. Após o deslizamento, o deslocamento das árvores ocasionou o comprometimento de seu sistema radicular e a mortalidade dos indivíduos. Nesse quadro, um novo risco, o de acidentes e obstáculos à navegação, começou a se configurar. Para evitar essa possibilidade e recuperar a área de manguezal se fez necessário traçar um criterioso plano de recuperação para a estabilização do talude com sistema de confinamento celular (geocélulas) e a recuperação

do ecossistema por meio de plantios induzidos, e o monitoramento do sítio de recuperação acompanhando o desenvolvimento das mudas plantadas na área.

Além da vulnerabilidade dessa área às instabilidades geradas por dragagens, transporte de minérios, riscos de acidentes e vazamentos de combustível, etc. o manguezal do estuário do Rio dos Cachorros é ainda atualmente utilizado por pescadores que retiram peixes, camarões e caranguejos desse ecossistema. Da mesma forma, uma variedade de animais (aves, mamíferos, répteis e invertebrados) é observada nessa área, evidenciando a importância desse manguezal também do ponto de vista da biodiversidade e da conservação.

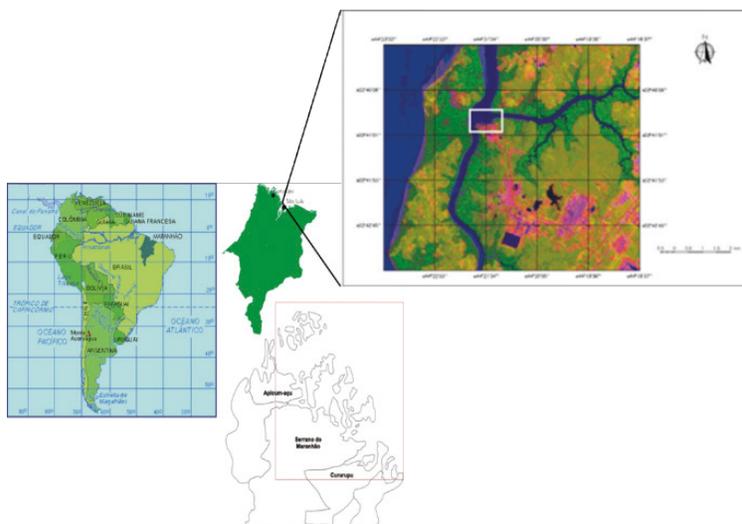


Figura 1. Área de estudo na foz do Rio dos Cachorros na Ilha de São Luís, Maranhão.

2.2 Estudos de Engenharia Ambiental e Atividades Ecológicas e Biológicas de Recuperação do Manguezal

Os estudos, análises geoambientais, executivos e operacionais foram coordenados e realizados pela equipe UFMA (Depto de Oceanografia e Limnologia), LPS Consultoria e Engenharia LTDA, Sempre Verde, Camargo Correa, Âncora, ASA Consultoria, coordenados pelo PRAD estabelecido pela autora Flávia R. Mochel.

Para análise da topografia do manguezal foram realizadas amostragens e análises dos dados topográficos na área do deslizamento do talude que nortearam os estudos de engenharia para a estabilização do talude, o deslocamento das equipes em campo e o planejamento das ações de recuperação. Os pontos de medição do “barra-minas” distaram 20m entre si, formando um “grid” (malha), traçados sobre imagem Ikonos.

Os estudos de Estabilidade do Talude Após a dragagem tiveram como objetivo avaliar as condições de segurança do talude remanescente após os serviços de dragagem

Para a caracterização do subsolo local foram realizadas 10 sondagens a percussão / mista, 37 sondagens com barra mina e 6 ensaios de palheta (Figuras 2 e 3) Usou-se o Programa Computacional de Estudo de Estabilidade: SLIDE (Equilíbrio Limite). (Quadro 1)



Figuras 2 e 3. Trabalhos geotécnicos para caracterização do subsolo.

Solo	g (kN/m ³)	S_u (kPa)	c' (kPa)	f (°)
Argila Orgânica	14,0	7,5	—	—
Areia Siltosa	20,0	—	0	35

Quadro 1 Parâmetros geotécnicos adotados para caracterização do subsolo.



Figuras 4 e 5. Dragagem superficial da área para retirada de troncos e tocos e posterior recobrimento com geotêxtil e sistema de confinamento celular.

A estabilização do talude foi, então, executada após dragagem superficial da área para retirada de troncos e tocos, (Figuras 4 e 5). A instalação de geotêxtil não tecido (200 g/m²-RT 10KN/m) sobre o solo local, de forma a possibilitar o trânsito de operários com segurança, foi seguida do lançamento de um sistema de confinamento celular (também conhecido por geocélulas) e posterior preenchimento com as mudas de manguezal. As *células* eram constituídas de tiras de polietileno de 1,25 mm de espessura, com altura de

7,5cm e dimensões de 30 x 40 cm. (Figura 6). A ancoragem foi feita através de grampos executados com ferro de construção comum (CA-50), com espaçamento a cada metro. Os tensores de ancoragem (corda) eram constituídos de cabos de poliéster com diâmetro de 6,0mm, resistência a tração de 650kgf e peso mínimo de 23,0g/m (Figuras 7 a 12).

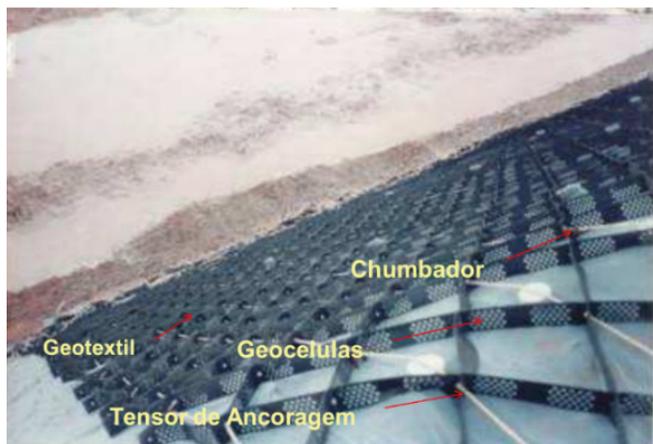


Figura 6. Aspectos técnicos da instalação do sistema de confinamento celular (geotêxtil/geocélulas)



As Figuras 7 a 12. Instalação das geocélulas no manguezal: na expansão e ancoragem firme das seções de geocélula nos taludes e posterior união das diversas seções, através de grampos, para a manutenção da integridade da instalação durante as operações de preenchimento com sedimentos e vegetação nativa.

No interior de cada uma das geocélulas as mudas de manguezal das espécies de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germi nans* e *Laguncularia racemosa* eram plantadas e seu

desenvolvimento monitorados (Figuras 13 e 14).



Figuras 13 e 14. Plantio de mudas de *Laguncularia racemosa* em sistema de confinamento celular (geocélulas)

Antes de se realizar a supressão do manguezal contíguo à área de deslizamento, foram realizadas coletas e medições em campo para estudos de estrutura, biomassa, função e dinâmica para estabelecer os níveis de base que nortearão a evolução do processo de recuperação

Algumas bases de conhecimento são, por conceito, fundamentais antes de se iniciarem projetos de recuperação. A inobservância dessas bases e dos estudos prévios pode determinar o insucesso da intervenção com prejuízos ainda maiores ao ecossistema e desperdício de recursos humanos, materiais e financeiros. Entre os fatores de insucesso na restauração de manguezais na Baía de Guanabara, Mochel (2002) ressalta a importância de se checar os tensores ambientais antes do estabelecimento da atividade. No Estudo de Caso em questão esses pré-requisitos foram: a biologia das espécies, área cortada, linha-limite (cota) de onde partirá a geocélula (limite do mangue restante), frequência de inundação nessa linha, aporte de sedimentos.

Neste documento, empregamos o conceito de “êxito” na recuperação de manguezal degradado: Como êxito, ou sucesso, estamos nos referindo à estabilização dos propágulos e plântulas na área por mais de 6 (seis) meses e ao desenvolvimento nítido no comprimento do caule, incremento no diâmetro da base e no desenvolvimento de folhas nos exemplares plantados.

3 | RESULTADOS

Análises geoquímicas no sedimento do manguezal atingido.

Os resultados geoquímicos dos teores de salinidade, pH e metais mostram valores compatíveis com ambientes estuarinos e marinhos (Quadro 1). Em relação aos metais, os teores de Alumínio, Ferro, Chumbo, Cádmiu os teores mostraram-se abaixo do limite

detecção (em partes por milhão), bem como os teores de Cromo para 4 (quatro) pontos de amostragem. Os teores de Cobre, Cálcio, Zinco e Magnésio são compatíveis com os encontrados em águas marinhas e estuarinas sendo utilizados em diversos processos fisiológicos animais e vegetais. A análise dos resultados obtidos mostra que o teor de metais no manguezal está abaixo dos níveis de contaminação e, portanto, estão indicadas as atividades de recuperação na área.

Ponto de Amostragem	Parametro analisado										
	pH	Salinidade e (%)	Alumínio (Al)	Ferro (ppm Fe)	Cromo (ppm Cr)	Cobre (ppm Cu)	Cálcio (ppm Ca)	Chumbo (ppm Pb)	Cádmio (ppm Cd)	Zinco (ppm Zn)	Magnésio (ppm Mg)
BM-16	7,12	27,8	<	<	0,004	0,072	345,6	0,0032	0,0001	0,068	989,5
BM-17	7,79	29,4	<	<	0,011	0,079	386,6	0,0032	0,0001	0,073	1068,9
BM-18	7,35	30,8	<	<	0,0002	0,086	524,5	0,0032	0,0001	0,045	1514,2
BM-19	7,64	30,8	<	<	0,0002	0,098	511,5	0,0032	0,0001	0,043	1463,5
BM-22	7,09	25,5	<	<	0,007	0,061	391,5	0,0032	0,0001	0,046	1102,7
BM-23	7,37	30,7	<	<	0,0002	0,058	386,3	0,0032	0,0001	0,077	1124,1
BM-24	7,64	29,3	<	<	0,0002	0,063	432,4	0,0032	0,0001	0,022	1243,4
BM-28	7,56	30,5	<	<	0,028	0,173	461,1	0,0032	0,0001	0,035	1366,7
BM-29	7,54	31,3	<	<	0,003	0,171	1249,5	0,0032	0,0001	0,124	437

Quadro 1 Resultados geoquímicos dos teores de salinidade, pH e metais na área de manguezal degradado a ser recuperada. Fonte: Os autores e equipe, 2021

Análise da topografia do manguezal e Estudos de Estabilidade do Talude Após a Dragagem

Observou-se, na área do deslizamento, um mosaico de cotas baixas e altas, alternando cotas mais baixas e mais altas ora próximos a linha de ruptura e ora próximos ao limite entre o talude e o estuário. Esse mosaico possivelmente reflete o assoreamento, já em curso no local, pela deposição de material sedimentar fino (lama), fato observável no campo. Há uma nova camada de lama fina, muito mole, que recobre parte da planície formada pelo deslizamento.

Os resultados dos estudos de estabilidade do talude após a dragagem mostraram oscilações de Maré: NA nas cotas +0,00m e +6,50m. A busca de superfícies críticas abrangendo todo o perfil mostrou a possibilidade de ruptura nos taludes de areia siltosa e na argila orgânica (Tabela xxx).

Cota do NA (m)	Localização da Superfície Crítica	FS
+ 0,00	Argila Orgânica	2,34

+ 0,00	Areia Siltosa	2,38
+ 6,50	Argila Orgânica	8,23
+ 6,50	Areia Siltosa	2,48

(Tabela xxx) Possibilidade de ruptura nos taludes de areia siltosa e na argila orgânica

Os resultados para o talude estável indicam Fatores de Segurança $\geq 1,50$ (FS $\geq 1,50$) para a inclinação de 1V:10H após a dragagem (Figura 15).

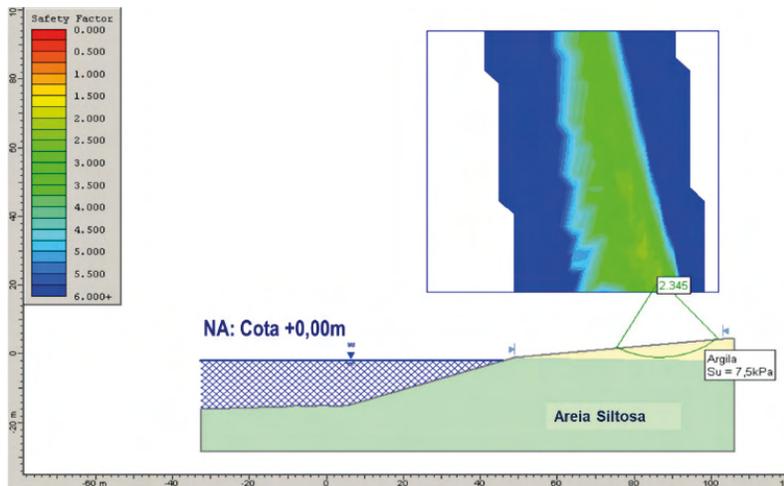


Figura 15 resultados dos estudos de estabilidade do talude após a dragagem e Fator de Segurança na cota de maré baixa (+0,00m)

Desenvolvimento e monitoramento de estrutura das mudas de manguezal em sistema de confinamento celular

O desenvolvimento estrutural das mudas iniciou-se a partir da germinação da planta no interior das geocélulas, sítio de recuperação, com a espécie *Laguncularia racemosa*. Em julho do mesmo ano, plantaram-se, também, mudas de *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle*.

Numa retrospectiva da recuperação em 4 anos, em alguns locais onde foram plantados indivíduos de *R. mangle*, houve grande deposição do sedimento, fato que pode explicar a oscilação no incremento do diâmetro dessa espécie. A partir do momento em que a fase de deposição se estabiliza, nota-se um ganho consistente e ascendente no diâmetro, revelando o incremento da biomassa da população dessa espécie.

Os resultados para a evolução de altura e diâmetro para os indivíduos plantados de *L. racemosa*, em 4 anos de recuperação, observa-se também a influência da deposição de sedimento na base dos caules afetando o ganho do diâmetro durante o mesmo período que em *R. mangle*.

As maiores alturas registradas entre os indivíduos plantados no sítio de recuperação foram: *Rhizophora mangle* com 2,52 metros, *Avicennia germinans* com 6,29 metros e *Laguncularia racemosa* com 6,11 metros.

A densidade de um bosque de manguezal em desenvolvimento é inversamente proporcional a sua idade e ganho de biomassa. Com isso, quanto mais jovem o bosque maior sua densidade e quanto mais indivíduos adultos encontram-se em um bosque, menor sua densidade.

A densidade das árvores plantadas no sítio de recuperação diminui a medida que os indivíduos envelhecem em função da mortalidade por competição por espaço. Os resultados para a mortalidade das espécies no sítio de recuperação, para todo o período de monitoramento, mostram que as porcentagens para as três espécies diferem pouco entre si. A espécie *Laguncularia racemosa* apresentou mortalidade para 14,8% das mudas plantadas, *Avicennia germinans* para 11,1% e *Rhizophora mangle* para 12,5% (Tabela).

Dados de apuração do plantio		Espécies		
		<i>Avicennia germinans</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Rhizophora mangle</i>
Percentual para os <i>quadracts</i>	Sobrevivência	88,9%	84,2%	87,5%
	Mortalidade	11,1%	14,8%	12,5%

Tabela Percentuais de sobrevivência e mortalidade das mudas nos *quadracts* no sítio de recuperação no final do período de recuperação..

As altas salinidades do substrato em área de manguezal, sedimentos ácidos ou muito básicos são condições que devem ser evitadas durante a recuperação de um manguezal degradado (CORREA et. al., 2021). Essas condições limitam o desenvolvimento das mudas e podem causar mortalidade de grandes quantidades de indivíduos. Por outro lado, valores baixos de salinidade não prejudicam o desenvolvimento dos indivíduos, porém tornam os indivíduos suscetíveis a ataques por herbívoros. Portanto, é necessário o monitoramento dessas variáveis acompanhando-se o desenvolvimento das mudas no sítio de recuperação. Os resultados desse monitoramento encontram-se na Tabela XXX

Salinidade no sítio de recuperação		
Dados Estatísticos	Salinidade	pH
Média	29,98	7,58
Max	32,0	7,7
Mín	28,0	7,4
Desvio padrão	1,84	0,10

Tabela XXXX Resultados para salinidade e pH médios, máximos e mínimos para o sítio de recuperação ao final do período de recuperação.

Observa-se, para todos os pontos monitorados no sítio de recuperação, a média de salinidade e do pH, ao final do período, foram equivalentes à salinidade e ao pH de ambientes estuarinos e costeiros que apresentam boa circulação por marés,



Figuras 16, 17 e 18. Evolução da recuperação da área de manguezal ao final de um período de 4 anos.

Proteção do Talude Remanescente Contra Erosão Superficial

Verificou-se o equilíbrio ambiental através do plantio de mudas de manguezal nas geocélulas. Verificou-se reduzido impacto hidrodinâmico no ambiente do manguezal favorecendo a manutenção das mudas plantadas e a deposição natural de sedimentos. Ao final de um período de 4 anos a área de manguezal foi considerada recuperada com sucesso, tendo as espécies apresentado desenvolvimento estrutural (Figuras 16, 17 e 18) com reprodução e exportação de propágulos para a zona costeira, suas inflorescências com polinizadores (abelhas) e o retorno da fauna local de invertebrados e vertebrados.

A principal desvantagem observada da implantação do Sistema de Confinamento Celular (geocélulas) é a necessidade de manutenção periódica no primeiro (1º) ano após a implantação da solução.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sistema de confinamento celular (geocélulas) demonstrou ser a alternativa que mais segura para a recuperação do manguezal local. Os estudos hidrodinâmicos solicitados revelaram uma zona de muito baixa energia, confirmando relatórios periciais anteriores que apontaram uma elevada deposição de sedimentos, com tendência a acumulação (assoreamento). As geocélulas tendem a diminuir a energia hidrodinâmica local, fato importante para acelerar a deposição de sedimentos e favorecer o processo de restauração do manguezal. Em 4 anos, as 3 espécies plantadas nas geocélulas se desenvolveram com altura superiores a 10 metros, floresceram, reproduziram e exportaram propágulos,

5 | AGRADECIMENTOS

Dulce Soares da Alumar, Luciano da Camargo Correa, Sílio da LPS, Achilles da Âncora, ALREFU2 Team, à equipe operacional da Sempre Verde.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. S. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica .3rd ed., p. 140-158, Ilhéus, BA: Editus, 2016

CORREA, J. N., AZEVEDO, J.W.J., OLIVEIRA, A., MOCHEL, F.R. Salinity assessment in the germination of *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. GAERTN. For selecting mangrove restoring sites In: A pesquisa em ciências biológicas: Desafios atuais e perspectivas futuras 2, Clécio Danilo Dias da Silva; Danyelle Andrade Mota (Orgs.), v.2, 30-44, Ponta Grossa, PR, Atena Ed., 2021

FWS. 456 p. <https://www.fws.gov/verobeach/MSRPPDFs/FlowWaterSwamp.pdf> acesso em 10/11/2021

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/8705-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-degradadas>. 2019 Acesso em 10 de novembro de 2021.

MOCHEL, F.R. Manguezais da Amazônia Maranhense: conservação e recuperação ecológica. In: Tierra, paisajes, suelos y biodiversidad Garcia, M. & Seabra G. (orgs.) , p. 602-618, Ed. Universidad Central de Chile, Santiago de Chile, 2016

MOCHEL, F.R. , FONSECA, I.L.A. Abordagem integrada para a recuperação de manguezais degradados em áreas portuárias com estudo de caso em São Luís, Maranhão. In: Gerenciamento costeiro e gerenciamento portuário 2. Flávia Rebelo Mochel (Org.) Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019

MOCHEL, F. R. Programa Integrado Estudos Ecológicos dos Manguezais do Estado do Maranhão. Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado - para países de língua portuguesa. , v.1, p.30 - 31, 2002.

SER . Society for Ecological Restoration, Report, 52p., Maddison, Wisconsin, 2004

SHABICA, C.W., JENNINGS, J. R., RILEY, M., BOECKLER, J. Stabilization of ravines, adjacent beaches, and bluffs on Lake Michigan. Shore & Beach, Vol. 78, No. 1, 2010

SHEIKH I. R. & SHAH, M. Y. State-of-the-Art Review on the Role of Geocells in Soil Reinforcement Geotechnical and Geological Engineering volume 39, pages1727–1741 (2021)

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 102, 109, 118, 119, 120, 121

Agência Nacional de Águas - ANA 2

Agroindústria 77

Águas residuárias 4, 7, 77, 78, 80, 83, 84, 91, 92, 93, 94, 96, 98, 99, 100, 101, 103, 105, 106, 107, 121

Águas superficiais 4, 7, 33, 95, 109, 111, 113, 115

Água subterrânea 38, 43, 45, 47, 49

Água sulfúrea 38, 46, 47, 50

Áreas de Preservação Permanente - APP 2, 6

Aterros sanitários 28, 29, 33, 112

Atividades agropecuárias 27

Atividades ecológicas 14, 18

Atividades portuárias 14

Automedicação 27, 32, 33

B

Bacias hidrográficas 4, 7, 58, 61, 62, 63, 66, 67

Barragens 1, 2, 13

Biocombustíveis 126, 127, 129, 131, 132, 136, 137, 138

Biodegradabilidade 29, 33, 109, 112, 116

Bioma 2, 3, 5, 9, 12, 13

Biomassa 7, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

Biota aquática 109, 110

C

Compensação ambiental 4, 6, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13

Conselho Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco - CONSEMA/PE 4

Contaminação 7, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

Corpos hídricos 15, 93, 94

D

Decantador 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Desenvolvimento sustentável 1, 12, 93, 107

Desreguladores endócrinos 109, 111, 114, 122, 123

E

Ecosistema 14, 15, 18, 21, 53, 114

Educação Ambiental 27, 29, 32, 34, 35, 140

Efluentes domésticos 7, 109

Energia elétrica 52, 53, 54, 55, 56, 57

Energia solar 52, 53, 56, 57

Energias renováveis 53

Erosão 15, 25, 59, 61, 62, 65, 66, 67

Espécie humana 29, 35

Eutrofização 93, 94, 95

F

Fármacos 27, 29, 33, 34, 110, 111, 112, 113, 121, 122, 123

Filtração por membranas 109, 119, 121

Flotação 77

G

Geoambiental 16, 58, 60

Geológicos 38, 41, 51

Geomorfológicos 38, 41

H

Hidrogeoambientais 6, 38, 43

Hidrogeofísicos 58

Hidrologia 50, 58, 67

Hormônios 4, 7, 109, 111, 114, 116, 117, 119, 120

Humo 7, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

I

Impactos ambientais 2, 4, 29, 30, 33, 53, 92

Indústrias farmacêuticas 28, 29, 31

Infecciones respiratorias 126, 128, 129, 132, 133

L

Logística reversa 6, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37

M

Macrófitas 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104

Mamão Papaya 7, 69

Manguezais 4, 6, 14, 15, 16, 21, 26

Medicamentos 4, 6, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 112, 114

Meio ambiente 4, 4, 12, 13, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 36, 37, 52, 53, 58, 69, 71, 72, 78, 90, 91, 93, 94, 109, 110, 111, 112, 113, 122, 124

Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV 77, 79

Mudanças Climáticas 4, 7, 39, 40, 58, 61, 62

P

Patógenos 71, 109, 114

Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD 15, 26

Podridão Peduncular 69, 71, 72, 73, 74, 75

Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS 28, 30, 35, 37

Processos Oxidativos Avançados - POAs 4, 109, 116, 121, 123, 140

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA 28

R

Reatores biológicos 77

Reatores de Leito Móvel com Biofilme - MBBR 7, 77

Reciclagem 28

Recuperação ecológica 4, 6, 14, 15, 26

Recursos hídricos 27, 29, 31, 33, 39, 78, 93, 109, 114, 123, 124

Rede de Drenagem 59, 61

Resolução CONAMA 2

Reutilizar 28

S

Sistema de Confinamento Celular (Geocélulas) 6, 14, 15, 16, 17, 21, 25

Sistema Fotovoltaico 4, 6, 52, 53, 54, 55, 56, 57

Supressão vegetal 2, 4, 5, 11, 13

T

Tratamento hidrotérmico 4, 7, 69, 70, 71, 74, 75, 76

U

Usinas hidrelétricas 52, 53

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA AMBIENTAL



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA AMBIENTAL

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br