

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/267034760>

CIÊNCIAS AMBIENTAIS PARA ENGENHARIA

Book · September 2014

CITATIONS

14

READS

11,536

17 authors, including:



[Roger Rodrigues Torres](#)

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

66 PUBLICATIONS 2,712 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Rafael Capaz](#)

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

29 PUBLICATIONS 544 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Luiz A Horta Nogueira](#)

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

239 PUBLICATIONS 2,099 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Arcilan T Assireu](#)

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

75 PUBLICATIONS 681 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



CIÊNCIAS AMBIENTAIS PARA ENGENHARIA





CIÊNCIAS AMBIENTAIS PARA ENGENHARIA

RAFAEL SILVA CAPAZ E LUIZ AUGUSTO HORTA NOGUEIRA (ORGS.)



© 2015, Elsevier Editora Ltda.

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei no 9.610, de 19/02/1998. Nenhuma parte deste livro, sem autorização prévia por escrito da editora, poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros.

Copidesque: Adriana Araújo Kramer
Revisão: Gabriel Pereira
Editoração Eletrônica: Thomson Digital

Elsevier Editora Ltda.
Conhecimento sem Fronteiras
Rua Sete de Setembro, 111 – 16º andar
20050-006 – Centro – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

Rua Quintana, 753 – 8º andar
04569-011 – Brooklin – São Paulo – SP – Brasil

Serviço de Atendimento ao Cliente
0800-0265340
atendimento1@elsevier.com

ISBN 978-85-352-7739-5

ISBN (versão eletrônica) 978-85-352-7743-2

Nota: Muito zelo e técnica foram empregados na edição desta obra. No entanto, podem ocorrer erros de digitação, impressão ou dúvida conceitual. Em qualquer das hipóteses, solicitamos a comunicação ao nosso Serviço de Atendimento ao Cliente, para que possamos esclarecer ou encaminhar a questão.

Nem a editora nem o autor assumem qualquer responsabilidade por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens, originados do uso desta publicação.

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

C511

Ciências ambientais para engenharia / organização Luiz Augusto Horta Nogueira,
Rafael Silva Capaz. – 1. ed. – Rio de Janeiro : Elsevier, 2014.
il. ; 24 cm.

ISBN 978-85-352-7739-5

1. Engenharia ambiental. 2. Meio ambiente. I. Nogueira, Luiz Augusto Horta. II.
Capaz, Rafael Silva.

14-13569

CDD: 363.7
CDU: 504.06

Aos que se veem como parte de um todo, e que buscam desenvolver-se com este todo.
“Eu sou o que me cerca”.

Ortega y Gasset, filósofo e escritor



AGRADECIMENTOS

A todos os coautores e colaboradores desta obra, que se comprometeram com esta empreitada, e à Camila Cruz, Vanessa Huguenin e Ana Paula Ramos que gerenciaram de forma competente este projeto desde o início.



SOBRE OS ORGANIZADORES

Rafael Silva Capaz
rafacapaz@unifei.edu.br

Engenheiro Ambiental pela UNIFEI (2007) e Mestre em Ciências da Engenharia da Energia pela mesma instituição (2009). Atualmente é Professor Assistente II do Instituto de Recursos Naturais da UNIFEI, nas áreas de Ciências Ambientais, Gestão Ambiental, Controle de Efluentes Gasosos e Bioenergia. Atua na área de Biocombustíveis, com ênfase em Análise do Ciclo de Vida, Gestão Ambiental na Empresa, Avaliação de Impactos Ambientais e Licenciamento Ambiental de Unidades Produtivas.

Luiz Augusto Horta Nogueira
horta@unifei.edu.br

Engenheiro Mecânico pela UNESP (1978), Mestre em Engenharia Mecânica pela UNICAMP (1981), Especialista em Economia da Energia pela Fundación Bariloche (1985) e Doutor pela UNICAMP (1987). Foi Cientista Visitante na FAO (Roma, 1997/1998) e Diretor Técnico da Agência Nacional do Petróleo (1998/2004).

Atualmente é professor titular do Instituto de Recursos Naturais da UNIFEI e consultor de agências das Nações Unidas (FAO, CEPAL, PNUD) em temas energéticos. Atua em estudos técnicos, econômicos e ambientais de sistemas energéticos, principalmente relacionados à cogeração, bioenergia (etanol, biodiesel e bioeletricidade) e eficiência energética nos usos finais.



SOBRE OS COAUTORES

Arcilan Trevenzoli Assireu (arcilan@unifei.edu.br)

Físico pela UFV (1995) e Doutor em Oceanografia Física pela USP (2003). Atualmente é Professor Adjunto da UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Tem experiência na área de Oceanografia Física, atuando em circulação oceânica, processos hidrodinâmicos em reservatórios hidrelétricos e aproveitamento eólico em sistemas aquáticos.

Benedito Cláudio da Silva (silvabenedito@unifei.edu.br)

Engenheiro Mecânico pela UNIFEI (1996) e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS (2005). Atualmente é Professor Adjunto na UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Tem experiência na área de recursos hídricos e energia, atuando em modelagem hidrológica, previsões de vazão, hidrometria, drenagem urbana, gestão de recursos hídricos e projeto de pequenas centrais hidrelétricas.

Geraldo Lúcio Tiago Filho (tiago@unifei.edu.br)

Engenheiro Mecânico pela UNIFEI (1979) e Doutor em Hidráulica pela USP (1994). Atualmente é Professor Titular da UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais e Secretário Executivo do Centro Nacional de Referências em PCH (desde 1997). Tem experiência na área de recursos hídricos, geração e planejamento de energia, atuando em transitórios hidráulicos, centrais hidrelétricas, turbinas hidráulicas e hidromecânicos.

Herlane Costa Calheiros (h2c@unifei.edu.br)

Engenheira Civil pela UFES (1995) e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela USP-São Carlos (2003). Atualmente é Professora Associada da UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Atua em saneamento ambiental com conservação e reúso de água, tratamento de águas e águas residuárias, oxidação de matéria orgânica, aproveitamento de águas pluviais e controle de odores.

Iara Corsi Okabayashi (iaraok@yahoo.com.br)

Engenheira Ambiental pela UNIFEI (2007) e Especialista em Gestão de Sustentabilidade e Responsabilidade Corporativa pela UNICAMP (2013). Atua nas áreas de Sistemas de Gestão Integrado e Gestão para a Sustentabilidade, com experiência nos setores de mineração, papel e celulose, energia e construção civil pesada.

Marcelo Ribeiro Barison (marcelo.barison@unifal-mg.edu.br)

Engenheiro Geológico pela UFOP (1990) e Doutor em Geociências e Meio Ambiente pela UNESP (2003). Atualmente é Professor Associado da UNIFAL. Possui experiência em estudos geotécnicos com controle de erosão e estabilidade de encostas; e estudos hidroquímicos de águas subterrâneas com contaminação e remediação.

Maria Inês Nogueira Alvarenga (mariaines@unifei.edu.br)

Engenheira Agrônoma pela UFLA (1980) e Doutora em Agronomia pela mesma instituição (1996). Atualmente é Professora Associada na UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais, atuando com temas em Solos e Meio Ambiente, como licenciamento ambiental, atributos do solo, indicadores de impacto, sustentabilidade e recursos naturais.

Maria Rita Raimundo e Almeida (maria.rita.ralmeida@gmail.com)

Engenharia Ambiental pela UNIFEI (2008) e Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela mesma instituição (2010). Atualmente é Professora Assistente na UFU e doutoranda em Ciências da Engenharia Ambiental (USP). Tem experiência na área de engenharia civil, com ênfase em engenharia ambiental, atuando em radiação UV e saúde, avaliação de impacto ambiental e licenciamento ambiental.

Nívea Adriana Dias Pons (npons@unifei.edu.br)

Engenheira Civil pela UFSM (1998) e Doutora em Geotecnia pela USP-São Carlos (2006). Atualmente é Professora Adjunta na UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Tem experiência na área de Engenharia Civil,

com ênfase em Geotecnia, atuando em mapeamento geotécnico, geotecnia ambiental, geoprocessamento, planejamento do meio físico, urbano e regional.

Regina Mambeli Barros (mambeli@unifei.edu.br)

Engenheira Civil pela UNITAU (1997), e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela USP-São Carlos (2005). Membro da International Solid Waste Association (ISWA), Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), e Professora Adjunta na UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Atua principalmente em resíduos sólidos, pequenas centrais hidrelétricas, recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Roger Rodrigues Torres (torres.fisico@gmail.com)

Físico pela UNESP (2005) e Doutor em Meteorologia pelo CPTEC/INPE (2014). Atualmente é Professor Assistente na UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Atua principalmente em climatologia, modelagem numérica de tempo e clima, e mudanças climáticas.

Sâmia Regina Garcia Calheiros (samia@unifei.edu.br)

Bacharel e licenciada em Matemática pela USP (2003) e Doutora em Meteorologia pelo INPE (2010). Atualmente é Professora Adjunta na UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Atua principalmente em climatologia, variabilidade climática, e meteorologia tropical.

Vanessa Silveira Barreto Carvalho (vanessa.silveira@gmail.com)

Bacharel em Meteorologia pela UFRJ (2004) e Doutora em Meteorologia pela USP (2010). Atualmente é Professora Adjunta na UNIFEI/Instituto de Recursos Naturais. Atua principalmente em poluição atmosférica e modelagem atmosférica.

Roberto Meira Júnior (meirajrp@gmail.com).

Engenheiro Mecânico pela UNIFEI (1998). Atuou em várias empresas e órgãos públicos como Alcoa Alumínio S.A., Açúcar Guarani S.A., Eletronorte e Ministério de Minas e Energia (MME). Atualmente cursa mestrado no Programa de Engenharia da Energia da UNIFEI.

Felipe Pimenta (felipepimenta@gmail.com).

Oceanógrafo pela FURG (1998) e PhD em Oceanografia Física pela Universidade de Delaware nos Estados Unidos (2009). Atualmente é professor do Departamento de Geociências da UFSC. Atua nas áreas de processos costeiros, estuarinos e energias renováveis.

PREFÁCIO

Emilio Lèbre La Rovere¹

Enquanto os biólogos são percebidos como protetores do meio ambiente e antropólogos e sociólogos de segmentos vulneráveis da população, recai habitualmente sobre os engenheiros a pecha de destruidores da natureza. Afinal, são eles que projetam, constroem e operam empreendimentos que acarretam impactos ambientais e sociais frequentemente muito negativos, em contrapartida a seus benefícios econômicos. No entanto, o despertar da consciência ambiental da sociedade impõe uma mudança na formação e na ética profissional do engenheiro, de modo que ele incorpore em seus projetos e na sua atuação os princípios da sustentabilidade social e ambiental do desenvolvimento. Esta mudança já está em curso, mas muitas vezes permanece invisível: muitos projetos já são alterados para incorporar preocupações sociais e ambientais, por exemplo por meio dos processos de licenciamento ambiental estabelecidos em todos os países mais avançados. E a responsabilidade de identificar soluções alternativas de projeto que, além de garantirem sua viabilidade técnica e econômica, atendam a critérios de sustentabilidade social e ambiental, acaba recaindo sobre o engenheiro, pois a missão das ciências humanas e sociais se esgota no diagnóstico e análise dos problemas, não se aventurando na busca de respostas às questões que levantam. Vários exemplos de soluções de engenharia já podem ser encontrados, como tomadas d'água em pente (evitando o uso de água de pior qualidade dos níveis mais profundos do reservatório), ou turbinas bulbo permitindo aproveitar baixas quedas com reservatórios de superfície muito menor, apenas para citar dois casos no projeto de centrais hidroelétricas. Certamente, também neste campo é melhor prevenir do que remediar, e quanto mais cedo a dimensão ambiental for incorporada no projeto dos empreendimentos de engenharia, menores os prazos e custos para se viabilizar sua construção. Um dos maiores obstáculos para que esta concepção avance é que só se vê o resultado final, uma obra pronta e operando, enquanto todos os esboços anteriores que permitiram gradativamente o seu aprimoramento, resolvendo problemas ambientais e sociais, normalmente acabam indo diretamente da prancheta para o lixo. É preciso, portanto, recuperar essa memória, valorizar e divulgar o esforço de se projetar,

¹Engenheiro eletricitista de sistemas e industrial pela PUC-RJ, economista pela UFRJ, mestre em ciências em engenharia de sistemas pela COPPE/UFRJ e doutor em Técnicas Econômicas, Previsão e Prospectiva pela École des Hautes Études en Sciences Sociales de Paris; professor titular do Programa de Planejamento Energético do Instituto de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPE/COPPE/UFRJ), coordenador do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente – LIMA e do CentroClima – Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas da COPPE/UFRJ. Participou, desde 1992, da autoria de diversos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), sendo membro deste grupo de cientistas que recebeu, em 2007, o Prêmio Nobel da Paz, junto com Al Gore.

idealmente desde o início de sua concepção, uma obra de engenharia considerando as dimensões social e ambiental do empreendimento.

Este livro fornece uma contribuição importante neste sentido, ao reunir de forma didática, em um só volume, conceitos importantes para se apreender a interface entre os projetos de engenharia e os componentes ambientais, como o ar, as águas e os solos. Também inclui alguns capítulos sobre questões mais gerais, como Sustentabilidade e Engenharia, Avaliação de Impactos Ambientais e Sistemas de Gestão. Graças à especialização de seus organizadores na área de energia, apresenta também um enfoque especial sobre a relação fundamental entre energia e meio ambiente, nos capítulos sobre Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética. O tratamento de resíduos sólidos também merece um capítulo específico.

Naturalmente a abrangência do tema não permite a sua abordagem por todos os ângulos pertinentes. Assim, seria interessante estimular os autores a já pensarem em um segundo volume, com um enfoque complementar, trazendo por exemplo tópicos como Indústria e Meio Ambiente, Transportes e Meio Ambiente, Agropecuária e Meio Ambiente, Petróleo&Gás e Meio Ambiente, Energia Elétrica e Meio Ambiente, Tratamento de Efluentes Líquidos, Controle de Poluentes Atmosféricos, Captura e Sequestro de Carbono, Técnicas para Preservação da Biodiversidade, dentre outros.

De todo modo, esta obra vem ajudar a preencher uma lacuna na formação dos engenheiros de diversas especialidades, permitindo ampliar o material didático disponível para a disciplina de Ciências do Ambiente, e também para os cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Ambiental que vêm sendo criados nas principais universidades brasileiras. Além disso, seria muito importante que também fosse utilizada em disciplinas do ciclo básico da graduação, de forma a inserir a dimensão ambiental o mais cedo possível no campo dos conhecimentos indispensáveis para nossos futuros engenheiros.

SUMÁRIO

1. Sustentabilidade e Engenharia	1
1.1 Introdução	1
1.2 Um breve panorama	2
1.3 Desenvolvimento sustentável	5
1.3.1 Histórico	6
1.3.2 Abordagens do conceito <i>Sustentabilidade</i>	8
1.4 Engenharia e a Operacionalização da sustentabilidade	11
Exercícios	12
2. Atmosfera	15
2.1 Introdução	15
2.2 Composição da Atmosfera	15
2.3 Estrutura Vertical da Atmosfera	16
2.4 A dinâmica do clima	18
2.4.1 A variabilidade climática	21
2.4.2 Mudanças climáticas	23
2.5 Poluição Atmosférica	32
2.5.1 Classificação dos Poluentes	33
2.5.2 Escalas e Efeitos da Poluição do Ar	35
2.5.3 A Meteorologia da Poluição do Ar	36
2.5.4 Monitoramento da Qualidade do Ar	39
2.5.5 Níveis de Referência	40
2.5.6 Controle da Emissão de Poluentes	43
2.5.7 Modelos de Qualidade do Ar	50
Exercícios	51
3. Solos	55
3.1 Introdução	55
3.2 Formação e características dos solos	56
3.2.1 Fatores e processos de formação dos solos	56
3.2.2 Classificação de solos	57
3.2.3 Características e atributos principais do solo	63
3.3 Erosão, Movimentos de Massa e Técnicas de Controle	70
3.3.1 Erosão hídrica	71
3.3.2 Movimentos de massa e técnicas de controle	75
Exercícios	81

4. Águas Superficiais	85
4.1 Introdução	85
4.2 Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica	86
4.2.1 Descrição Geral do Ciclo Hidrológico	86
4.2.2 Bacia Hidrográfica	87
4.3 Balanço Hídrico	89
4.4 Disponibilidade Hídrica Superficial	93
4.4.1 Gênese das Vazões	93
4.4.2 Medição e Fonte de Dados	95
4.4.3 Estimativas de Disponibilidade	98
4.5 Tratamento de água e efluentes líquidos	102
4.5.1 Importância e impactos do tratamento de águas e efluentes líquidos	102
4.5.2 Características das águas	103
4.5.3 Operações e processos unitários para o tratamento de águas	108
4.5.4 Seleção de tecnologias para o tratamento de águas	109
4.6 Reúso de água	112
4.6.1 Importância do reúso das águas	113
4.6.2 Potenciais aplicações das águas de reúso e riscos associados	114
4.6.3 Tecnologias para a recuperação de águas residuárias	115
4.6.4 Planejamento e práticas de reúso de águas	120
Exercícios	121
5. Águas Subterrâneas	123
5.1 Introdução	123
5.2 Conceitos Gerais	123
5.2.1 Classificação dos Aquíferos pela porosidade e quanto à pressão	124
5.3 Noções de Geologia de Águas Subterrâneas	128
5.4 Contaminação de Solos e águas subterrâneas	129
5.4.1 Substâncias presentes/ausentes nos solos e nas águas subterrâneas	130
5.4.2 Principais contaminantes nos solos e nas águas subterrâneas	134
5.4.3 Padrões de Qualidade das Águas Subterrâneas	139
5.5 Principais Processos e Técnicas de Remediação de Solos e Águas Subterrâneas	141
5.5.1 Sistemas Físicos	142
5.5.2 Sistemas Químicos	149
5.5.3 Sistemas Biológicos	151
Exercícios	153
6. Resíduos Sólidos	157
6.1 Introdução	157
6.2 Definição e classificação	157
6.2.1 Classificação quanto a periculosidade	158
6.2.2 Classificação quanto à origem	160
6.2.3 Características dos resíduos sólidos	164

6.3	Gerenciamento de resíduos sólidos	166
6.3.1	Acondicionamento e coleta	167
6.3.2	Tratamento e Disposição Final	169
6.3.3	Tratamento e Disposição final	172
6.4	Reciclagem	175
6.4.1	Papel	175
6.4.2	Plástico	176
6.4.3	Metal	178
6.4.4	Vidro	178
6.4.5	Matéria orgânica	180
6.4.6	Outros materiais	184
6.5	Política Nacional de Resíduos Sólidos	184
6.5.1	Tópicos sobre os objetivos e instrumentos	185
6.5.2	Responsabilidade compartilhada	186
6.5.3	Logística reversa	186
	Exercícios	187
7.	Avaliação de Impactos Ambientais	193
7.1	Introdução	193
7.2	Definição e Classificação de Impacto Ambiental	194
7.3	Processo de Licenciamento Ambiental: Aspectos legais	197
7.4	Composição dos Estudos Ambientais	201
7.4.1	O Estudo de Impacto Ambiental	202
7.4.2	Conteúdo	204
7.4.3	Relatório de Impacto Ambiental – RIMA	217
	Exercícios	218
8.	Sistemas de Gestão Ambiental	221
8.1	Introdução	221
8.2	Sistema de Gestão Integrada – SGI	222
8.2.1	Histórico	224
8.2.2	Implantação de um Sistema de Gestão	225
8.2.3	Certificação de um Sistema de Gestão	231
8.3	Ferramentas de Gestão	234
8.3.1	Indicadores de Sustentabilidade	235
8.3.2	Relatórios de Sustentabilidade	237
8.3.3	Avaliação do Ciclo de Vida	238
8.3.4	Rotulagem Ambiental	244
	Exercícios	247
9.	Fontes Alternativas de Energia	251
9.1	Introdução	251
9.2	Bioenergia e biocombustíveis	254
9.2.1	Definições e conceitos	255

9.2.2 Bioenergia no mundo	258
9.2.3 Bioenergia no Brasil	260
9.2.4 Processos produtivos de biocombustíveis líquidos	265
9.2.5 Bioenergia e sustentabilidade	269
9.3 Hidroeletricidade – Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	273
9.3.1 Definições e conceitos	274
9.3.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	276
9.3.3 Aspectos e Impactos Ambientais associados a PCHs	278
9.3.4 Vantagens das PCH	283
9.3.5 Participação das PCHs na matriz elétrica brasileira	283
9.3.6 Perspectivas das PCHs no mercado de eletricidade brasileiro	286
9.4 Energia Eólica	288
9.4.1 Perfil vertical do vento	289
9.4.2 Distribuição estatística do vento	290
9.4.3 Variabilidade temporal do vento	291
9.4.4 Influências do terreno para o aproveitamento eólico	293
9.4.5 Turbinas Eólicas	294
9.4.6 Geração eólica no Brasil	296
9.4.7 Impactos Ambientais	298
9.5 Energia Solar	298
9.5.1 Radiação solar	299
9.5.2 Sistemas de utilização da energia solar	301
9.5.3 Panorama de produção e uso no Brasil e no mundo	302
9.5.4 Impactos ambientais	304
Exercícios	305
10. Eficiência Energética	309
10.1 Introdução	309
10.2 Conceitos e fundamentos da eficiência energética	309
10.3 Exemplos de medidas de fomento à eficiência energética	312
10.4 Desenvolvendo ações para melhorar a eficiência energética	319
10.5 A Legislação para a Eficiência Energética	324
10.6 Aspectos ambientais e econômicos	325
Exercícios	327