

Elementos da Natureza e Propriedades do Solo

Atena Editora



Atena Editora

**ELEMENTOS DA NATUREZA E PROPRIEDADES DO
SOLO**

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Edição de Arte e Capa: Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Profª Drª Adriana Regina Redivo – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez – Universidad Distrital de Bogotá-Colombia
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª. Drª. Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª. Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª. Drª. Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A864e	Atena Editora. Elementos da natureza e propriedades do solo [recurso eletrônico] / Atena Editora. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. 10.500 kbytes – (Ciências Agrárias; v.1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web DOI 10.22533/at.ed.653182002 ISBN 978-85-93243-65-3 1. Agricultura. 2. Ciências agrárias. 3. Solos. 4. Sustentabilidade. I. Título. II. Série. CDD 631.44
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2018

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

www.atenaeditora.com.br

E-mail: contato@atenaeditora.com.br

Sumário

CAPÍTULO I

A INTERAÇÃO ENTRE RIZÓBIOS E PASTAGENS CULTIVADAS

Rafael Goulart Machado, Enilson Luiz Saccol de Sá e Leandro Hahn 7

CAPÍTULO II

ACÚMULO DE N E PRODUTIVIDADE DO MILHO-DOCE EM FUNÇÃO DE MODOS E ÉPOCAS DO NITROGÊNIO EM COBERTURA

João Paulo de Moraes Oliveira, Bruna Santos de Oliveira, Dalton Ribeiro, Leandro Mariano da Silva, Jéssica Ferreira Silva e Adilson Pelá.....23

CAPÍTULO III

ADUBAÇÃO NITROGENADA COM UREIA CONVENCIONAL E REVESTIDA COM POLÍMEROS NA CULTURA DO MILHO

Weslei dos Santos Cunha, Osvaldo Fernandes Júnior, Tadeu Cavalcante Reis, Charles Cardoso Santana, Letícia da Silva Menezes e Adilson Alves Costa.....32

CAPÍTULO IV

AFERIÇÃO DE ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS EM ÁREAS SOB RECUPERAÇÃO NA SERRA DA BODOQUENA, EM BONITO-MS

Izabelli dos Santos Ribeiro, Simone da Silva Gomes, Robison Yuzo Ono e Milton Parron Padovan.....40

CAPÍTULO V

ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA DO RIO DOS CACHORROS EM SÃO LUIS (MA) ENTRE OS ANOS DE 1988 E 2010 A PARTIR DE IMAGENS DE SENSORES ORBITAIS

Janilci Serra Silva e Marcelino Silva Farias Filho49

CAPÍTULO VI

ATIVIDADE DA ENZIMA B-GLICOSIDASE EM DIFERENTES CONFORMAÇÕES DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO CERRADO BRASILEIRO

Daniela Tiago da Silva Campos, Ana Carla Stieven, Willian Mesquita Mendes e Flávio de Jesus Wruck.....60

CAPÍTULO VII

ATRIBUTOS PARA MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS: O ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO ARROJADO, MUNICÍPIO DE CRISTALINA – GOIÁS

Lucas Espíndola Rosa, Nicali Bleyer Ferreira dos Santos, Maximiliano Bayer, Selma Simões de Castro, Elizon Dias Nunes e Luís Felipe Soares Cherem68

CAPÍTULO VIII

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM DIFERENTES PREPAROS E DOSES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO NO NOROESTE PAULISTA

Elvis Henrique Rocha da Silva, Renato Molina da Silva Junior e Paulo Roberto de Sousa Junior83

CAPÍTULO IX

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO COMO INSTRUMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO

Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento e Karina Patrícia Vieira da Cunha.....91

CAPÍTULO X

AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO CULTIVADO COM MUSA SPP. CV. GRANDE NAINÉ EM MISSÃO VELHA-CE

Ruana Íris Fernandez Cruz, Sebastião Cavalcante de Sousa, José Valmir Feitosa, Antonia Julliana Sarafim Bezerra e Alyne Araújo da Silva..... 111

CAPÍTULO XI

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE SEDIMENTOS COMO CONDICIONANTE DE SOLO: ESTUDO DE CASO DA LAGOA DA URUSSANGA VELHA (BALNEÁRIO RINCÃO - SC)

Émilin de Jesus Casagrande de Souza, Fernando Basquioto de Souza e Marcos Back 118

CAPÍTULO XII

AVALIAÇÃO E TESTE DE UM MINI PENETRÔMETRO DINÂMICO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

Ludmila Gomes Ferreira, José Fernandes de Melo Filho, João Albany Costa, Ana Carolina Rabelo Nonato, Raquel Almeida Cardoso da Hora e Maria Magali Mota dos Santos 127

CAPÍTULO XIII

BIOMASSA MICROBIANA EM SOLOS DO CERRADO SOB DIFERENTES USOS PELO MÉTODO DE IRRADIAÇÃO-EXTRAÇÃO

Verônica Alves Vieira, Maria Victória Ferreira Ribeiro, Liliane Mendes Gonçalves, Vinícius Santana Mota e Marco Aurélio Pessoa de Souza 146

CAPÍTULO XIV

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA FIBRA DE ALGODÃO SUBMETIDA A DIFERENTES DOSES E FORMA DE APLICAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR

Elias Almeida dos Reis, Liliane dos Santos Sardeiro, Tadeu Cavalcante Reis, Alberto do Nascimento Silva, Charles Cardoso Santana e Tatiana Cruz Amaral..... 154

CAPÍTULO XV

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ORGANOSSOLOS EM AMBIENTE ALTOMONTANO NO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA

Paula Fernanda Chaves Soares, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Marcos Gervasio Pereira e Fernando Zuchello.....**Erro! Indicador não definido.**

CAPÍTULO XVI

COINOCULAÇÃO COM RIZOBACTÉRIAS EM ASSOCIAÇÃO COM ÁCIDOS HÚMICOS NA CULTURA DO FEIJOEIRO-COMUM

Érica de Oliveira Araújo, Juliana Guimarães Gerola, Juan Ricardo Rocha, Leandro Cecílio Matte e Kamila Cabral Mielke..... 174

CAPÍTULO XVII

COMPORTAMENTO DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLO DEGRADADO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Kellian Kenji Gonzaga da Silva Mizobata, Mayara Maggi, Adriana Avelino Santos e Kátia Luciene Maltoni 188

CAPÍTULO XVIII

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

Elaine Heberle, Daniela Vieira Chaves, José Alves Pessoa Neto, Joaquim Martins de Sousa Filho, Jonas Sousa Santana e Fabio Luiz Zanatta..... 197

CAPÍTULO XIX

DESRAMA ARTIFICIAL DE AZADIRACHTA INDICA A. JUSS EM RESPOSTA AO MÉTODO DE CULTIVO EM MACAÍBA, RN

Camila Costa da Nóbrega, Ciro de Oliveira Ribeiro, Luan Henrique Barbosa de Araújo, Jucier Magson de Souza e Silva, Gualter Guenther Costa da Silva e Ermelinda Maria Mota Oliveira 214

CAPÍTULO XX

EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO CRESCIMENTO AÉREO E RADICULAR DE MIMOSA CAESALPINIIFOLIA BENTH

Luan Henrique Barbosa de Araújo, Gualter Guenther Costa da Silva, Camila Costa da Nóbrega, Ermelinda Maria Mota Oliveira, Priscila Lira de Medeiros e Daniel Nunes da Silva Junior 220

CAPÍTULO XXI

EFEITO DO ESTERCO DE GALINHA INCORPORADO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO

Glaudson Luiz Facas, Carlos Augusto Testa, Ana Paula Fiuza Ramalho e Rodrigo Merighi Bega..... 235

CAPÍTULO XXII

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO SORGO

Izabel Maria Almeida Lima, Boanerges Freire de Aquino (*in memoriam*), Bruno Lucio Meneses Nascimento, Daniel Henrique de Melo Romano, Régis Santos Braz e Thiago Henrique Ferreira Matos Castañon..... 243

CAPÍTULO XXIII

ESTRUTURA FÍSICA EM LATOSSOLO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO, NA REGIÃO DO CERRADO

Caíque Helder Nascentes Pinheiro, Bruno Oliveira Lima, Simone Rodrigues Miranda Câmara, Marcelo Barcelo Gomes, Hugo Alberto Murillo Camacho e Janne Louize Sousa Santos..... 252

CAPÍTULO XXIV

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NA ACIDEZ DO SOLO E NA DENSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES

Fernando Ramos de Souza, Ernandes Silva Barbosa, Oclizio Medeiros das Chagas Silva, Manoel Ramos de Menezes Sobrinho, Gean Corrêa Teles, Luiz Rodrigues Freire e Ricardo Luís Louro Berbara.....260

CAPÍTULO XXV

NITROGÊNIO EM COBERTURA E PRODUTIVIDADE DO MILHO DOCE

João Paulo de Moraes Oliveira, Bruna Santos de Oliveira, Dalton Ribeiro,
Leandro Mariano da Silva, Jéssica Ferreira Silva e Adilson Pelá..... 273

CAPÍTULO XXVI

TEOR DE MATÉRIA SECA E PROTEÍNA BRUTA DA PALMA MIÚDA EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO ORGÂNICA E ADUBAÇÃO MINERAL

Jefferson Mateus Alves Pereira dos Santos, Maria Vitória Serafim da Silva,
Márcio Gleybson da Silva Bezerra, Iara Beatriz Silva Azevedo, Ermelinda Maria
Mota Oliveira e Gualter Guenther Costa da Silva 281

CAPÍTULO XXVII

TEORES FOLIARES DO ABACAXIZEIRO EM DECORRÊNCIA DO USO DE ESTERCO DE GALINHA

Glaudson Luiz Facas, Gabriel Henrique de Aguiar Lopes, Ana Paula Fiuza
Ramalho, Weber Pazeto dos Santos e Rodrigo Merighi Bega 289

Sobre os autores.....296

CAPÍTULO IX

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO COMO INSTRUMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO

**Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento
Karina Patrícia Vieira da Cunha**

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO COMO INSTRUMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO

Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal - Rio Grande do Norte

Karina Patrícia Vieira da Cunha

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal - Rio Grande do Norte

RESUMO: A atividade de mineração altera a paisagem e a qualidade do solo original. A ausência de medidas de proteção sanitária e ambiental contribui para o aumento do risco de degradação não apenas na área de lavra, mas em toda a extensão da área de influência da mineração. Esta revisão bibliográfica objetivou avaliar as alterações na qualidade do solo em áreas mineradas, bem como em minas abandonadas ou em processo de recuperação, destacando os procedimentos necessários à mitigação da degradação ambiental nessas áreas a fim de restabelecer os processos essenciais do solo e dos ecossistemas alterados. De modo geral, solos de áreas mineradas apresentam perda de fertilidade do solo, contaminação por metais pesados e compactação. Nos âmbitos nacional e internacional, estudos desenvolvidos nas áreas mineradas focam na mobilização de metais pesados para o solo, culturas alimentares e mananciais, evidenciando, assim, a escassez de estudos que investigam as alterações nos atributos físicos e químicos do solo decorrentes da atividade de mineração. Em minas recuperadas ou em processo de recuperação, a avaliação de qualidade se restringe ao solo construído nas áreas de lavra, sem investigar as alterações nas propriedades do solo da área de influência da mineração. Solos construídos em áreas de mineração geralmente apresentam elevada densidade do solo e quantidade de fragmentos grosseiros, baixa taxa de infiltração de água, falta de estrutura, aumento do pH e condutividade elétrica, e perda nas concentrações de carbono orgânico e nitrogênio.

PALAVRAS CHAVE: degradação ambiental; contaminação ambiental; propriedades do solo.

1- INTRODUÇÃO

A atividade de mineração provoca mudanças visíveis na paisagem, alterando significativamente a estética e a biodiversidade local, por isso é tão veementemente criticada por conservacionistas e caracterizada como de elevado potencial de degradação. A mineração subterrânea ou a céu aberto promove a remoção da vegetação, do solo e das camadas geológicas, sobrejacentes ou intercaladas ao minério de interesse, o que muda a topografia permanentemente e interrompe o regime hidrológico superficial e subsuperficial (SHRESTHA & LAL, 2011). Além disso, a inexistência de gerenciamento e de controle de poluentes

eficazes em todas as etapas da mineração contribui para a redução da qualidade do solo (FU *et al.*, 2011).

A supressão da cobertura vegetal, que corresponde ao primeiro passo para a abertura das lavras e das estradas, facilita o arraste direto de rejeitos e de partículas de solo por processos erosivos, aumentando o risco de assoreamento dos corpos hídricos e do transporte de contaminantes responsável pela difusão da contaminação no ambiente (BARROS *et al.*, 2011).

Além da retirada da vegetação, os desmontes, escavações, tráfego de maquinário pesado, deposição do estéril (solo ou rocha) removido, que corresponde ao material não aproveitável economicamente, e do rejeito proveniente dos processos de beneficiamento do minério também contribuem para a deflagração de intensos processos erosivos e de movimentação de massa. Como resultado, vastas áreas podem se tornar potencialmente instáveis ou inadequadas para posterior utilização (SOBREIRA & FONSECA, 2001).

A grande quantidade de estéréis e rejeitos gerada, juntamente com a produção de água residuária, torna-se fonte de contaminação por metais pesados e de poluição do ambiente quando sua disposição não atende às medidas de proteção sanitária e ambiental (PRATAS *et al.*, 2005). Nas áreas de disposição inadequada das pilhas de estéril e rejeito, é comum a ocorrência da Drenagem Ácida de Mina (DAM) resultante da oxidação de sulfetos em presença de água (ROMERO *et al.*, 2007). A DAM tem sido reconhecida como um dos mais graves impactos ambientais associados à atividade de mineração tendo em vista que pode atingir rios e o lençol freático e, geralmente, contém elevadas concentrações de elementos dissolvidos potencialmente tóxicos, ou seja, a acidificação pode aumentar a dissolução de metais pesados, tais como cádmio, cobre e zinco (MONCUR *et al.*, 2005; ROMERO *et al.*, 2007; NAVARRO *et al.*, 2008).

Ademais, a deposição no solo de materiais atmosféricos particulados, provenientes de poeiras e fumaças liberadas durante as operações de lavra e de beneficiamento do minério, ocasiona intensa poluição (ANDRADE *et al.*, 2009b).

Vale salientar que a exposição das pilhas de estéril e rejeito aos processos de erosão hídrica e eólica e à lixiviação de contaminantes para o lençol freático desencadeia progressivo grau de contaminação de áreas circunvizinhas (ANDRADE *et al.*, 2009a). Isto é, a deterioração da qualidade do solo não se restringe à área de lavra, mas pode atingir toda a extensão da área de influência da mineração.

Neste contexto, o objetivo desta revisão é avaliar as principais alterações na qualidade do solo em áreas de extração de minério, bem como nas minas abandonadas ou em processo de recuperação, destacando os procedimentos necessários à mitigação da degradação ambiental a fim de restabelecer os processos essenciais do solo e dos ecossistemas alterados.

2-AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO COMO INSTRUMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Diante do potencial de degradação ambiental da atividade de mineração, a legislação brasileira, conforme o Decreto nº 97.632 de 10 de abril de 1989 (BRASIL, 1989), estabelece a obrigatoriedade da elaboração do plano de recuperação da área degradada (PRAD) a ser apresentado juntamente com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) exigidos para o processo de licenciamento de empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais (CONAMA, 1986). Assim, a recuperação de áreas mineradas deve ser planejada antes da implantação do empreendimento e executada simultaneamente à mineração, prosseguindo com o monitoramento até muito tempo depois de a atividade ter sido completada. Contudo, a dificuldade de fiscalização e a ausência de diagnósticos prévios dos resíduos gerados e da qualidade do solo, que orientem as medidas necessárias à redução de impactos, conduzem à prática de processos deficientes de recuperação das áreas mineradas. No cenário internacional, a situação é semelhante e minas simplesmente são abandonadas após o esgotamento das reservas de minérios (NAVARRO *et al.*, 2008; IAVAZZO *et al.*, 2012).

Estudos têm sido realizados a fim de investigar o potencial de contaminação do solo e dos mananciais de abastecimento humano e de dessedentação animal por metais pesados decorrente da atividade de mineração (IAVAZZO *et al.*, 2012; PETTA *et al.*, 2014). Entretanto, faz-se necessário também a realização de estudos que investiguem as alterações nos atributos físicos e químicos do solo, e conseqüentemente a redução de sua qualidade, causadas por atividades de mineração. Tais informações são úteis no sentido de subsidiar o planejamento voltado para a redução dos impactos durante a fase de extração e a gestão criteriosa das atividades de recuperação pós-mineração (SHRESTHA & LAL, 2011).

A qualidade do solo é definida como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro de limites dos ecossistemas naturais ou manejados, sustentando a produtividade das plantas e animais, mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar, e dando suporte a saúde humana e habitação (KARLEN *et al.*, 1997). A avaliação da qualidade do solo tem sido sugerida como uma importante ferramenta para a avaliação da sustentabilidade dos ecossistemas e o monitoramento ambiental, principalmente em programas de recuperação de áreas degradadas. Para quantificar a qualidade do solo, os principais desafios encontrados são a seleção dos atributos do solo, que servirão como indicadores de qualidade de solo, bem como os níveis críticos desses atributos, que devem levar em conta as peculiaridades de cada região.

Avaliar as alterações nos atributos do solo provocadas pelo seu uso é fundamental para que se possa empregar um manejo mais adequado e contornar possíveis processos de degradação ambiental, principalmente, em locais que apresentam ecossistemas naturalmente frágeis nos quais são desenvolvidas atividades com elevado potencial de contaminação, como a mineração e suas

diversas etapas. Neste contexto, percebe-se que a degradação pode ser associada à própria definição de qualidade do solo, ou seja, à medida que as características que determinam a qualidade de um solo forem alteradas, estabelece-se um processo de degradação (DIAS & GRIFFITH, 1998).

A associação entre degradação e um determinado status de qualidade requer que primeiramente sejam estabelecidas quais características definem a qualidade de um solo, o que pode ser alcançado pela avaliação dos atributos do solo. Os atributos do solo mais sensíveis ao nível de degradação podem servir como ferramentas da avaliação da qualidade do solo denominadas de indicadores de qualidade. Bons indicadores de qualidade do solo são quantitativos, sensíveis a pequenas variações, reduzidos em número e simples de medir (NORTCLIFF, 2002). Selecionados esses atributos/indicadores, o segundo passo e não menos importante que o primeiro, é a determinação de valores de referência para a qualidade desse solo. Tendo em vista o caráter dinâmico do solo, sempre que possível, não se devem usar padrões fixos para a comparação e tomada de decisão, e sim fazê-la adotando-se valores obtidos a partir de uma área adjacente em condição natural, ou seja, em que não tenha havido a intervenção antrópica.

Além dos atributos físicos e químicos do solo utilizados com eficiência como indicadores de qualidade do solo, como, por exemplo: pH, disponibilidade de nutrientes, teor de matéria orgânica, saturação por alumínio, CTC, condutividade elétrica, estabilidade de agregados, porosidade do solo (DIAS *et al.*, 2007); atualmente, contaminantes, tais como metais pesados, advindos dos resíduos das atividades antrópicas começaram a ser incluídos na lista de indicadores, pois podem alterar as concentrações naturais e prejudicar a funcionalidade dos ecossistemas (CUNHA *et al.*, 2008; CUNHA & NASCIMENTO, 2009).

A avaliação da qualidade do solo, quanto à presença de substâncias químicas, como os metais pesados, deve ser realizada com base nos Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQs), de Prevenção (VPs) e de Investigação (VIs) (CONAMA, 2009). Tais valores dão suporte às diretrizes de gerenciamento de áreas contaminadas em decorrência de atividades antrópicas. Encontram-se estabelecidos na Resolução CONAMA nº. 420/2009 apenas os VPs e VIs, assim, cumpre destacar que, em virtude das peculiaridades regionais, da diversidade geológica e de solos, bem como, de clima, relevo e vegetação, é exigência desta resolução que cada Estado estabeleça seus próprios VRQs.

Tendo em vista a progressiva acentuação dos problemas ambientais, fica evidente o quanto é necessário investir na construção de referências e definir atributos sensíveis ao manejo e uso do solo e de fácil determinação para serem utilizados como indicadores de qualidade do solo em programas de monitoramento ambiental, com a finalidade de evitar e/ou reverter a degradação do meio ambiente.

3-QUALIDADE DO SOLO EM MINAS ATIVAS

Embora o conhecimento das alterações nos atributos físicos e químicos do solo resultantes da mineração seja de suma importância para a adoção das medidas de correção das áreas mineradas mais adequadas e consequente sucesso do programa de recuperação ambiental, observa-se, na realidade, uma lacuna na literatura de estudos que avaliem a condição de qualidade do solo durante o desenvolvimento da atividade.

De maneira geral, solos de áreas mineradas apresentam perda drástica dos teores de matéria orgânica, carbono orgânico e nitrogênio do solo, assim como o aumento do pH, condutividade elétrica, densidade do solo e das concentrações de metais pesados (SHRESTHA & LAL, 2011; IAVAZZO *et al.*, 2012). Além disso, a remoção das camadas superiores do solo provoca perda de estrutura e funcionalidade, com consequente redução da biodiversidade (MENTA *et al.*, 2014).

Em uma mina de magnesita, localizada na China, a emissão de poeiras e geração de resíduos com grandes quantidades de magnésio resultaram na degradação da qualidade do solo refletida pelo aumento do pH, da relação Mg^{2+}/Ca^{2+} na solução do solo, da densidade do solo e da dispersibilidade da argila, e pela redução da porosidade do solo e do fósforo disponível (FU *et al.*, 2011). O estudo concluiu também que os indicadores de degradação mais sensíveis, dentre 14 atributos do solo analisados, de acordo com a análise de discriminante foram os teores de magnésio total, de cálcio solúvel e de fósforo disponível. Logo, a utilização desses atributos facilitaria o monitoramento da qualidade do solo em minas de magnesita, permitindo a redução dos recursos e tempo requeridos.

Recentemente um estudo demonstrou que W, Mo, Cu, Sn e, de forma menos significativa, Zn, são disponibilizados a partir das pilhas de rejeito descobertas em minas de scheelita localizadas no semiárido tropical (PETTA *et al.*, 2014). Os autores desse estudo concluíram que caso sejam disponibilizadas maiores quantidades desses metais e se as condições de transporte permanecerem constantes ou tornarem-se mais eficientes, a qualidade da água do reservatório Gargalheiras, importante reservatório de abastecimento de água para a região, pode ser deteriorada no futuro.

O foco dos estudos no aporte de metais pesados em áreas de minas ativas justifica-se pela notável preocupação acerca da contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e das culturas alimentares por tais elementos. Os metais pesados podem ser bioacumulados na vegetação, a qual é via de entrada na cadeia trófica, e em altas concentrações podem se tornar prejudiciais à saúde humana e dos animais (MAIGA *et al.*, 2005). Se os metais pesados são apontados como cancerígenos, seu acúmulo em vegetais e frutas pode aumentar o risco de câncer em pessoas que consomem esses alimentos (PERALTA-VIDEA *et al.*, 2009).

Populações residentes nas proximidades de minas têm sido afetadas pela contaminação por metais pesados conforme demonstram alguns estudos (LACATUSU *et al.*, 1996; PRUVOT *et al.*, 2006; KEDE *et al.*, 2008). LACATUSU *et al.* (1996) relataram que o solo e vegetais contaminados com Pb e Cd em Copsa Mica

e Baía Mare, na Romênia, contribuíram significativamente para a redução da expectativa de vida nas áreas afetadas, reduzindo a idade da mortalidade média em 9-10 anos. Na antiga área de mineração Metaleurop Nord, localizada na França, o número de doenças (p. ex., câncer e malformações) é cerca de dez vezes superior à média nacional e mais de 10% das crianças que vivem em seus arredores têm níveis de chumbo superiores a $100 \mu\text{g L}^{-1}$ no sangue (PRUVOT *et al.*, 2006), limite máximo de segurança recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

4-QUALIDADE DO SOLO EM MINAS ABANDONADAS

Após o encerramento das atividades, o abandono das minas resulta, frequentemente, em ambientes susceptíveis a processos erosivos e com extensas áreas de disposição de resíduos, os quais podem tornar-se uma importante fonte de contaminação do ambiente através da dispersão eólica e da erosão hídrica (MENDEZ & MAIER, 2008). Na mina abandonada Kettara, em Marrocos, as pilhas de rejeito cobrem uma área de 37 ha, que corresponde a aproximadamente 22% da área total de mineração (EL AMARI *et al.*, 2014). Em Podljubelj, na Eslovênia, estima-se que a quantidade total de resíduos gerados na mina de mercúrio, que esteve em operação de 1557 a 1902, seja de aproximadamente 170.000 toneladas (TERŠIČ *et al.*, 2008).

Em vista disso, não é de se admirar que muitos casos de contaminação química têm sido descritos em antigas áreas de mineração, onde quantidades significativas de vários elementos foram mobilizadas pelo intemperismo e lixiviação dos resíduos das minas abandonadas (FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2006; NAVARRO *et al.*, 2008; TERŠIČ *et al.*, 2008). Assim, este abandono expõe uma maior área de influência aos efeitos negativos da mineração, devendo sempre ser evitado.

A maioria dos locais de disposição de resíduos da mineração é desprovida de vegetação e a atividade microbiana é escassa (MOYNAHAN *et al.*, 2002; MENDEZ *et al.*, 2007), visto que rejeitos de minas apresentam condições físico-químicas inadequadas: elevadas concentrações de metais pesados fitodisponíveis (KELLY *et al.*, 2014), baixos teores dos nutrientes que suportam o crescimento biológico (N, P, K), seu pH varia desde muito ácido (pH 2) até alcalino (pH 9) dependendo do teor de carbonato ou do potencial de geração de ácido, são compostos, principalmente, por silte ou areia, quase não contêm matéria orgânica e apresentam baixa capacidade de retenção de água (MENDEZ & MAIER, 2008). Areia e matéria orgânica estão intrinsecamente relacionados com a capacidade do solo de liberar ou conter compostos químicos, respectivamente (FERNANDES *et al.*, 2003). Logo, percebe-se a predisposição dos rejeitos de minas à lixiviação dos poluentes e contaminação das águas subterrâneas. A revegetação desses rejeitos é, portanto, uma boa estratégia para amenizar esta situação, porque a copa das

plantas serve para reduzir a dispersão eólica, enquanto que as raízes das plantas ajudam a prevenir a erosão hídrica e lixiviação (ASENSIO *et al.*, 2013).

Apesar dos efeitos adversos que o abandono de minas impõe ao ambiente, há estudos que relatam ocorrências de sucessão espontânea resultante de processos de recuperação natural (FROUZ *et al.*, 2008; BURGOS *et al.*, 2013), isto é, quando não há intervenção antrópica e o desenvolvimento do solo é promovido apenas por processos naturais (HELINGEROVÁ *et al.*, 2010).

A compreensão dos processos naturais de desenvolvimento vegetal e do solo em minas abandonadas pode ser de grande importância prática e econômica, uma vez que a maioria das tecnologias de recuperação baseia-se na melhoria dos processos de sucessão natural através da revegetação e a sucessão em si pode ser também uma tecnologia de recuperação bem sucedida, pois muitos dos objetivos de recuperação da revegetação podem ser alcançados através da sucessão espontânea (BRADSHAW, 1997). Analisar as alterações nos atributos físicos e químicos do solo de locais não recuperados onde houve a sucessão espontânea e de locais recuperados com plantio planejado permite avaliar o efeito da prática de recuperação em comparação com a situação em que nenhuma ação foi tomada (HELINGEROVÁ *et al.*, 2010). Salienta-se que o resultado da revegetação espontânea é fortemente influenciado pelas condições do local (EVANS *et al.*, 2013), como, por exemplo, características do solo e regime de umidade. É importante frisar que a adoção de técnicas de recuperação de áreas degradadas permite uma recuperação mais rápida e confiável.

5- QUALIDADE DO SOLO EM MINAS RECUPERADAS OU EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Após o encerramento das atividades de mineração, é necessário mitigar seus impactos, restaurando a paisagem e todas as suas funções (SVOBODOVA *et al.*, 2012). Com este desafio a ser alcançado, estudos que avaliam as condições ambientais de minas em processo de recuperação retiram o foco do aporte de metais pesados e passam a focar na estruturação e descompactação do solo, e adição de matéria orgânica e microrganismos que fixam o nitrogênio (LIMA *et al.*, 2012; MENTA *et al.*, 2014; ZHAO *et al.*, 2013; KELLY *et al.*, 2014; MUKHOPADHYAY *et al.*, 2014). Neste contexto, um dos principais objetivos da recuperação de ecossistemas em áreas degradadas pela mineração é o desenvolvimento de solos funcionais com níveis adequados de matéria orgânica e nitrogênio, e ciclagem ativa de nutrientes (ŠOURKOVÁ *et al.*, 2005). Salienta-se que, no Brasil, as diretrizes para a elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração estão estabelecidas na NBR 13030:1999 (ABNT, 1999).

Os solos de minas recuperadas (*reclaimed mine soils*) são solos construídos (ou seja, antropogênicos) durante o processo de recuperação das áreas de mineração e, portanto, são solos jovens que estão se desenvolvendo a partir da mistura de material rochoso fragmentado e pulverizado com o solo original

(SENCINDIVER & AMMONS, 2000). Sendo assim, as propriedades físicas e químicas desses solos construídos são drasticamente alteradas em comparação as existentes no solo na condição pré-mina (GUEBERT & GARDNER, 2001).

Os solos construídos apenas recebem a denominação “solos de mina recuperada” quando os materiais utilizados na construção do solo começam a ser intemperizados e apresentam a capacidade de propiciar o crescimento das plantas (DANIELS, 1996). Ao longo do tempo, o intemperismo dos fragmentos de rocha promove transformações físicas e químicas, desenvolvendo horizontes detectáveis, e há a acumulação de matéria orgânica; com isso os materiais rochosos e geológicos começam a se comportar como solos naturais (DANIELS, 1996).

O tráfego de máquinas pesadas utilizadas para transportar grandes volumes de materiais durante os processos de extração do minério e construção do solo resulta na desestruturação, mistura e compactação do solo (SCHROEDER *et al.*, 2010), a qual aumenta a densidade do solo e diminui a porosidade. De fato, solos construídos em áreas de mina apresentam elevada densidade do solo ($1,82 \text{ g cm}^{-3}$, USSIRI *et al.*, 2006) e quantidade de fragmentos de rocha ($\geq 65\%$, ROBERTS *et al.*, 1988), sendo geralmente caracterizados por baixas taxas de infiltração (GUEBERT & GARDNER, 2001) e falta de estrutura (INDORANTE *et al.*, 1981). Observa-se que há um desequilíbrio na proporção dos tamanhos das partículas do solo construído refletido pelo aumento da quantidade de partículas de areia (61,2%) e diminuição da quantidade de silte (27,7%) e argila (11,1%) (GHOSE, 2004).

A redução da porosidade em solos construídos compactados ocasiona má aeração, restrição do crescimento radicular e diminuição da retenção de água (SEYBOLD *et al.*, 2004). Portanto, a compactação do solo é um importante fator limitante na restauração da vegetação nativa nos solos construídos (SINNETT *et al.*, 2008).

Alterações nos atributos químicos decorrentes das atividades de mineração e recuperação também são inevitáveis. Geralmente, solos construídos apresentam aumento de pH e condutividade elétrica, perda drástica das concentrações de carbono orgânico ($>70\%$) e de nitrogênio ($>65\%$) (GANJEGUNTE *et al.*, 2009; SHRESTHA & LAL, 2011), e maiores teores de cálcio e sódio trocáveis e igual ou maior teor de magnésio trocável em comparação ao solo original (INDORANTE *et al.*, 1981).

SHRESTHA & LAL (2011), ao estudarem os efeitos da mineração de carvão e dos processos de recuperação sobre os atributos físicos e químicos do solo em Ohio, Estados Unidos, verificaram que os solos construídos apresentavam perda drástica das concentrações de carbono orgânico e nitrogênio e aumento do pH, condutividade elétrica e densidade do solo. O pH do solo é importante para a recuperação de solos construídos visto que influencia a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Na maioria dos locais avaliados, o aumento do pH do solo não ultrapassou a faixa ideal para o crescimento das plantas, exceto em Jefferson (Noble County), onde o pH neutro do solo antes da mineração aumentou para o nível moderadamente alcalino após a recuperação.

CAMPOS *et al.* (2003), analisando solos construídos em uma antiga mina de carvão na região de Lauro Müller, em Santa Catarina, encontraram valores de condutividade elétrica que variaram de 0,01 a 2,5 S m⁻¹ na profundidade de 20 cm em uma mesma área. Cabe ressaltar que culturas sensíveis às elevadas concentrações de sais podem ser afetadas por condutividades elétricas de 0,1 S m⁻¹ ou menores (DANIELS, 1996).

6- RECUPERAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS: RECOMPOSIÇÃO TOPOGRÁFICA E CONSTRUÇÃO DO SOLO

Processos deficientes de recuperação de áreas mineradas resultam em solos com propriedades físicas, químicas e microbiológicas seriamente alteradas, como desestruturação física, acidez ou alcalinidade elevada e baixa atividade biológica (CAMPOS *et al.*, 2003; LUNARDI NETO *et al.*, 2008). Por isso, faz-se necessário conhecer e selecionar as técnicas de recuperação para obter sucesso na mitigação dos impactos negativos das áreas degradadas pela atividade de mineração.

Em vista das alterações significativas provocadas pela mineração na paisagem local, a recomposição topográfica torna-se indispensável e o primeiro passo no processo de recuperação das áreas mineradas. As ações de recomposição topográfica visam não apenas restaurar o equilíbrio geomorfológico, hídrico e ecológico da paisagem (HENDRYCHOVÁ, 2008), mas também restaurar ou criar o seu valor estético (SKLENIČKA & KAŠPAROVÁ, 2008).

Na literatura, há duas abordagens principais utilizadas para a recomposição topográfica das áreas mineradas: a geomorfológica, mais comum, que enfatiza os efeitos *off site* da erosão e a ecológica, centrada nos efeitos *on site*. A geomorfológica objetiva evitar qualquer efeito negativo sobre qualidade da água dos corpos hídricos existentes na área de influência da mina, sendo assim o relevo deve exportar a menor quantidade possível de escoamento e sedimentos para corpos d'água a jusante. A ecológica, por outro lado, estabelece a reconstrução do relevo de forma integrada ao solo e a vegetação com vistas a otimizar a restauração dos processos ecológicos essenciais (NICOLAU, 2003). O cenário ideal seria admitir tanto uma ênfase quanto outra no momento de selecionar e planejar as técnicas de recuperação de áreas degradadas.

Após a recomposição topográfica, o processo de recuperação é sucedido pela construção dos solos nas áreas de lavra, isto é, o solo é construído em decorrência do preenchimento das cavas exploradas. Deste modo, é válido destacar que os estudos que têm sido desenvolvidos com os objetivos de averiguar o êxito dos processos de recuperação e o desenvolvimento do solo construído, avaliando sua qualidade e realizando seu monitoramento, não estendem a avaliação da qualidade do solo para toda a extensão da área de influência da mineração, ou seja, é evidente a ausência de estudos que investiguem as alterações no solo de antigas áreas de disposição de estéréis e rejeitos e de contenção das águas residuárias.

Para reduzir e mitigar as alterações nas propriedades dos solos construídos é imprescindível que os horizontes do solo e as estruturas geológicas removidos sejam repostos conforme a sequência original em que se apresentavam no ambiente (QUIÑONES *et al.*, 2008), para isso é essencial que os materiais removidos sejam preservados separadamente (LUNARDI NETO *et al.*, 2008). Porém, a falta de planejamento inicial na exploração inviabiliza a reposição na sequência semelhante a original. Consequentemente, o preenchimento das cavas exploradas ocasiona a inversão dos horizontes do solo original, isto é, horizontes mais profundos e menos intemperizados, constituídos por materiais pouco estruturados e altamente susceptíveis à erosão, são depositados superficialmente. Além disso, os horizontes do solo original, geralmente, são perdidos ou misturados nas pilhas de rejeito e estéril (BRADSHAW, 1997), contribuindo para a redução da capacidade do solo construído de propiciar o desenvolvimento vegetal, pois o horizonte superficial do solo tem de ser preservado por ser componente fundamental para o crescimento da vegetação, a incapacidade de preservá-lo é um dos principais entraves para a recuperação de antigas minas (GHOSE, 2004).

Salienta-se, porém, que o armazenamento dos horizontes do solo por si só não garante a qualidade do solo construído, visto que as condições físicas, químicas e microbiológicas do solo se deterioram rapidamente em função do período de tempo significativo que, geralmente, decorre entre a remoção do solo e a redistribuição do mesmo sobre a área a ser recuperada (MENTA *et al.*, 2014). As mudanças na qualidade do solo são drásticas no primeiro ano após o armazenamento e continuamente se deteriora a cada ano, até o solo se tornar biologicamente estéril (GHOSE, 2004). Por isso, a camada superficial do solo estocado deve ser recuperada biologicamente a fim de evitar que o ciclo de nutrientes seja rompido pela redução da atividade microbiológica e os nutrientes sejam perdidos devido à lixiviação e erosão (GHOSE, 2004). O ideal seria não estocar o solo original, repondo seus horizontes nas cavas exploradas sequencialmente, ou seja, o material removido de uma cava recém-explorada deveria ser utilizado para o preenchimento de outras, evitando-se também a exposição prolongada dos materiais estéreis extraídos às condições ambientais.

O preenchimento das cavas com o retorno dos horizontes do solo é realizado por máquinas de grande porte, dessa forma, a compactação em solos construídos em minas recuperadas é um problema para as atuais práticas de recuperação e o processo de construção dos solos requer um tratamento da superfície do solo visando a descompactação. A compactação pode ser minimizada pela utilização de equipamentos leves, redução do tráfego de veículos pesados, aplicação de materiais orgânicos, gradagem leve dos horizontes superficiais e subsolagem (SHRESTHA & LAL, 2011), que consiste na desagregação do substrato compactado em profundidade. A utilização de espécies de plantas de cobertura também é uma estratégia para minimizar a compactação do solo (JIMENEZ *et al.*, 2008), sobretudo espécies com sistema radicular bastante agressivo, pois suas raízes têm a capacidade de quebrar a camada de solo compactado e formar poros importantes para o movimento da água e difusão dos gases no solo (MÜLLER *et al.*, 2001).

A revegetação corresponde a uma das últimas etapas do processo de recuperação de áreas mineradas e apresenta a capacidade de recuperar a fertilidade do solo e melhorar o microclima (SINGH *et al.*, 2002). No decorrer do tempo, a sucessão natural acelera o processo de formação do solo (MUKHOPADHYAY *et al.*, 2014).

Pode-se deduzir que as características físicas, químicas e microbiológicas dos solos construídos dependem evidentemente dos materiais utilizados e processos construtivos que os originou. Portanto, confirma-se a importância da elaboração de diagnósticos prévios da qualidade do solo que orientem as medidas necessárias à correção do solo, principalmente quando o objetivo final é a revegetação.

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação acerca da contaminação do solo, dos mananciais superficiais e subterrâneos e das culturas alimentares por metais pesados tem justificado o desenvolvimento de estudos que investigam o aporte de metais a partir de pilhas de rejeito e estéril em minas ativas ou abandonadas. Contudo, percebe-se nos âmbitos da literatura nacional e internacional que há reduzido número de estudos que investigam as alterações nos atributos físicos e químicos do solo decorrentes do desenvolvimento da atividade de mineração. Compreender as alterações dos atributos do solo e como elas concorrem para ampliação da degradação ambiental facilitaria a aplicação de medidas de controle e a tomada de decisão para recuperação das áreas mineradas.

Em virtude do potencial de degradação da atividade de mineração, a avaliação da qualidade do solo em áreas mineradas deve compreender toda a extensão da área de influência das minas, não se restringindo a investigação da qualidade do solo construído na área de lavra.

É válido salientar a importância da elaboração de diagnósticos dos resíduos gerados e da qualidade do solo, que orientem as medidas necessárias à redução de impactos gerados e à correção do solo, a fim de que os programas de recuperação de áreas degradadas pela mineração obtenham êxito. Além da condução de diagnósticos ambientais, deve-se também proceder com o monitoramento da qualidade do solo em longo prazo após a implantação das medidas mitigadoras. Em decorrência do caráter dinâmico do solo e da ausência de padrões fixos de qualidade que sirvam para todo e qualquer tipo de solo, a operacionalização do monitoramento necessita que sejam estabelecidas referências locais de qualidade, adotando-se os valores obtidos a partir de uma área próxima com pouca ou nenhuma intervenção antrópica, que corresponde à qualidade natural do solo e condição a ser alcançada com o processo de recuperação ambiental.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13030**: elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. São Paulo, 5 p., 1999.

ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I - fitoextração. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, p. 1879-1888, 2009a.

ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; SOUZA, L. C. P.; GABARDO, J.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. II - formas e disponibilidade para plantas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, p. 1889-1897, 2009b.

ASENSIO, V.; VEGA, F. A.; SINGH, B. R.; COVELO, E. F. Effects of tree vegetation and waste amendments on the fractionation of Cu, Cr, Ni, Pb and Zn in polluted mine soils. **Science of The Total Environment**, v. 443, p. 446-53, 2013.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; KUMMER, L.; SOUZA, L. C. P.; AZEVEDO, J. C. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1385-1404, out./dez. 2011.

BRADSHAW, A. Restoration of mined lands—using natural processes. **Ecological Engineering**, v. 8, p. 255-269, 1997.

BRASIL. Decreto n. 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, Seção I, p. 5571. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm> Acesso em: 12 set. 2014.

BURGOS, P.; MADEJÓN, P.; MADEJÓN, E.; GIRÓN, I.; CABRERA, F.; MURILLO, J. M. Natural remediation of an unremediated soil twelve years after a mine accident: Trace element mobility and plant composition. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 36-45, 2013.

CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; SOUZA, L. S. Avaliação de três áreas de solo construídos após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n. 6, p.1123-1137, nov./dez. 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, de 17/02/86, p. 2548-2549. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em: 12 set. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, de 30/12/2009, p.81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>> Acesso em: 04 maio 2015.

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A. Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays* L.) Grown on a cadmium and zinc enriched soil. **Water Air Soil Pollution**, v. 197, p. 323-330, 2009.

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; PIMENTEL, R. M. M.; ACCIOLY, A. M. A; SILVA, A. J. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.6, p. 1319-1328, 2008.

DANIELS, W. L. Manipulating the chemical properties of soil and mining wastes. In: Alvarez V. H. *et al.* **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, p. 869-897, 1996.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do solo, p. 956-990, 2007.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, p. 1-7. 1998.

EL AMARI, K.; VALERA, P.; HIBTI, M.; PRETTI, S.; MARCELLO, A.; ESSARRAJ, S. Impact of mine tailings on surrounding soils and ground water: Case of Kettara old mine, Morocco. **Journal of African Earth Sciences**, v. 100, p. 437-449, 2014.

EVANS, D. M.; ZIPPER, C. E.; BURGER, J. A.; STRAHM, B. D.; VILLAMAGNA, A. M. Reforestation practice for enhancement of ecosystem services on a compacted

surface mine: Path toward ecosystem recovery. **Ecological Engineering**, v. 51, p. 16-23, 2013.

FERNANDES, M. C.; COX, L.; HERMOSÍN, M. C.; CORNEJO, J. Adsorption–desorption of metalaxyl as affecting dissipation and leaching in soils: role of mineral and organic components. **Pest Management Science**, v. 59, p. 545–52, 2003.

FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, R.; LOREDO, J.; ORDÓÑEZ, A.; RUCANDIO, M. I. Physicochemical characterization and mercury speciation of particle-size soil fractions from an abandoned mining area in Mieres, Asturias (Spain). **Environmental Pollution**, v. 142, p. 217-226, 2006.

FROUZ, J.; PRACH, K.; PIŽL, V.; HÁNĚL, L.; STARÝ, J.; TAJOVSKÝ, K.; MATERNA, J.; BALÍK, V.; KALČÍK, J.; ŘEHOUNKOVÁ, K. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, p. 109-121, 2008.

FU, S. S.; LI, J.; FENG, Q.; LI, X. J.; LI, P.; SUN, Y. B.; CHEN, Y. Soil quality degradation in a magnesite mining area. **Pedosphere**, v. 21, n. 1, p. 98-106, 2011.

GANJEGUNTE, G. K.; WICK, A. F.; STAHL, P. D.; VANCE, G. F. Accumulation and composition of total organic carbon in reclaimed coal mine lands. **Land Degradation e Development**, v. 20, p. 156–175, 2009.

GHOSE, M. K. Effect of opencast mining on soil fertility. **Journal of Scientific and Industrial Research India**, v. 63, p. 1006–1009, 2004.

GUEBERT, M. D.; GARDNER, T. W. Macropore flow on a reclaimed surface mine: infiltration and hillslope hydrology. **Geomorphology**, v. 39, p. 151–169, 2001.

HELINGEROVÁ, M.; FROUZ, J.; ŠANTRŮČKOVÁ, H. Microbial activity in reclaimed and unreclaimed post-mining sites near Sokolov (Czech Republic). **Ecological Engineering**, v. 36, p. 768–776, 2010.

HENDRYCHOVÁ, M. Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: a review of pedological and biological studies. **Journal of Landscape Studies**, v. 1, p. 63–78, 2008.

IVAZZO, P.; DUCCI, D.; ADAMO, P.; TRIFUOGGI, M.; MIGLIOZZI, A.; BONI, M. Impact of Past Mining Activity on the Quality of Water and Soil in the High Moulouya Valley (Morocco). **Water, Air, e Soil Pollution**, v. 223, p. 573-589, 2012.

INDORANTE, S. J.; JANSEN, I. J.; BOAST, C. W. Surface mining and reclamation: initial changes in soil character. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 347–351, 1981.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 116–121, 2008.

KARLEN, D. L., MAUSBACH, M. J., DORAN, J. W., CLINE, R. G., HARRIS, R. F., SCHUMAN, G. E. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KEDE, M. L. F. M.; MOREIRA, J. C.; MAVROPOULOS, H.; ROSSI, A. M.; BERTOLINO, M. C.; PEREZ, D. V.; ROCHA, N. C. C. Estudo do comportamento do chumbo em latossolos brasileiros tratados com fosfatos: contribuições para a remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 579-584, 2008.

KELLY, C. N.; PELTZ, C. D.; STANTON, M.; RUTHERFORD, D. W.; ROSTAD, C. E. Biochar application to hardrock mine tailings: Soil quality, microbial activity, and toxic element sorption. **Applied Geochemistry**, v. 43, p. 35–48, 2014.

LACATUSU R.; RAUTA C.; CARSTEA S.; GHELASE I. Soil–plant–man relationships in heavy metal polluted area in Romania. **Applied Geochemistry**, v. 11, p. 105–107, 1996.

LIMA, C. L. R.; MIOLA, E. C. C.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A.; SILVA, A. P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil e Tillage Research**, v. 124, p. 190–195, 2012.

LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1379-1388, 2008.

MAIGA, A.; DIALLO, D.; BYE, R.; PAULSEN, B. S. Determination of some toxic and essential metal ions in medicinal and edible plants from Mali. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 2316-2321, 2005.

MENDEZ, M. O.; GLENN, E. P.; MAIER, R. M. Phytostabilization potential of quailbush for mine tailings: growth, metal accumulation, and microbial community changes. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, p. 245–253, 2007.

MENDEZ, M. O.; MAIER, R. M. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 7, p. 47–59, 2008.

MENTA, C.; CONTI, F. D.; PINTO, S.; LEONI, A.; LOZANO-FONDÓN. Monitoring soil restoration in an open-pit mine in northern Italy. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 22–19, 2014.

MONCUR, M. C.; PTACEK, C. J.; BLOWES, D. W.; JAMBOR, J. L. Release, transport and attenuation of metals from an old tailings impoundment. **Applied Geochemistry**, v. 20, p. 639–659, 2005.

MOYNAHAN O. S.; ZABINSKI C. A.; GANNON J. E. Microbial community structure and carbon-utilization diversity in a mine tailings revegetation study. **Restoration Ecology**, v. 10, p. 77–87, 2002.

MUKHOPADHYAY, S.; MAITI, S. K.; MASTO, R. E. Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study. **Ecological Engineering**, v. 71, p. 10–20, 2014.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 531–538, 2001.

NAVARRO, M. C.; PÉREZ-SIRVENT, C.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, M. J.; VIDAL, J.; TOVAR, P. J.; BECH, J. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: a case study in a semi-arid zone. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 96, p. 183–193, 2008.

NICOLAU, J. M. Trends in relief design and construction in opencast mining reclamation. **Land Degradation & Development**, v. 14, p. 215–226, 2003.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality properties. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, p. 161–168, 2002.

PERALTA-VIDEA, J. R.; LOPEZ, M. L.; NARAYAN, M.; SAUPE, G.; GARDEA-TORRESDEY, J. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. **The International Journal of Biochemistry e Cell Biology**, v. 41, p. 1665–1677, 2009.

PETTA, R. A.; SINDERN, S.; SOUZA, R. F.; CAMPOS, T. F. C. Influence of mining activity on the downstream sediments of scheelite mines in Currais Novos (NE Brazil). **Environmental Earth Sciences**, v. 72, p. 1843:1852, 2014.

PRATAS, J.; PRASAD, M. N. V.; FREITAS, H.; CONDE, L. Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 85, p. 99-107, 2005.

PRUVOT, C.; DOUAY, F.; HERVÉ, F.; WATERLOT, C. Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas. **Journal of Soils and Sediments**, v.6 n. 4, p. 215-220, 2006.

QUIÑONES, O. R. G.; INDA JUNIOR, A. V.; GIASSON, E.; BISSANI, C. A.; DICK, D. P. Características de solos construídos após mineração de carvão relacionadas ao processo de construção e à composição do material utilizado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1564-1571, 2008.

ROBERTS, J. A.; DANIELS, W. L.; BELL, J. C.; BURGER, J. A. Early stages of mine soil genesis in Southwest Virginia spoil lithosequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 716–723, 1988.

ROMERO, F. M.; ARMIENTA, M. A.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, G. Solid-phase control on the mobility of potentially toxic elements in an abandoned lead/zinc mine tailings impoundment, Taxco, Mexico. **Applied Geochemistry**, v. 22, p. 109–127, 2007.

SCHROEDER, P. D.; DANIELS, W. L.; ALLEY, M. M. Chemical and physical properties of reconstructed mineral sand mine soils in Southeastern Virginia. **Soil Sciences**, v. 175, p. 2–9, 2010.

SENCINDIVER, J. C.; AMMONS, J. T. Minesoil Genesis and Classification. Ch. 23. In: **Reclamation of Drastically Disturbed Lands**. R.I. Barnhisel, W.L. Daniels, and R.G. Darmody (Eds.) Agronomy Series N°. 41. American Society of Agronomy. Madison, WI, 2000.

SEYBOLD, C. A.; GROSSMAN, R. B.; SINCLAIR, H. R.; MCWILLIAMS, K. M.; STRUBEN, G. R.; WADE, S. L. Evaluating soil quality on reclaimed coal mine soils in Indiana. Proceedings of the 2004 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation and The 25th West Virginia Surface Mine Drainage Task Force, April 18–24, 2004. **American Society of Mining and Reclamation**, Lexington, KY, p. 1644–1663, 2004.

SHRESTHA, R.; LAL, R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. **Geoderma**, v. 161, p. 168-176, 2011.

SINGH, A. N.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. Plantations as a tool for mine spoil restoration. **Current Science**, v. 82, p. 1436–1441, 2002.

SINNETT, D.; POOLE, J.; HUTCHINGS, T. R. A comparison of cultivation techniques for successful tree establishment on compacted soil. **Forestry**, v. 81, p. 663–679, 2008.

SKLENIČKA, P.; KAŠPAROVÁ, I. Restoration of visual values in a post-mining landscape. **Journal of Landscape Studies**, v. 1, p. 1 – 10, 2008.

SOBREIRA, F. G.; FONSECA, M. A. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. **Goetecnia**, n. 92, p. 5-28, jul. 2001.

ŠOURKOVÁ, M.; FROUZ, J.; FETTWEIS, U.; BENS, O.; HÜTL, R.F., ŠANTRŮČKOVÁ, H. Soil development and properties of microbial biomass succession in reclaimed postmining sites near Sokolov (Czech Republic) and near Cottbus (Germany). **Geoderma**, v. 129, p. 73–80, 2005.

SVOBODOVA, K.; SKLENICKA, P.; MOLNAROVA, K.; SALEK, M. Visual preferences for physical properties of mining and post-mining landscapes with respect to the sociodemographic characteristics of respondents. **Ecological Engineering**, v. 43, p. 34– 44, 2012.

TERŠIČ, T.; GOSAR, M.; ŠAJN, R. Impact of mining activities on soils and sediments at the historical mining area in Podljubelj, NW Slovenia. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 100, p. 1–10, 2009.

USSIRI, D. A. N.; LAL, R.; JACINTHE, P. A. Soil properties and carbon sequestration of afforested pastures in reclaimed minesoils of Ohio. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 1797–1806, 2006.

ZHAO, Z.; SHAHROUR, I.; BAI, Z.; FAN, W.; FENG, L.; LI, H. Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1e13 years in the West-Northern Loess Plateau of China. **European Journal of Soil Biology**, v. 55, p. 40-46, 2013.

ABSTRACT: Mining changes the landscape and soil quality. The absence of measures of health and environmental protection contributes to the increased risk of degradation not only in the mined area, but in the full extent of the area affected by mining. This review aimed evaluates the main changes in soil quality in areas of extraction of ore as well as in abandoned mines or into the reclaim process, highlighting the procedures required to mitigate environmental degradation in these areas in order to restore the essential soil processes and altered ecosystems. In general, soils from mined areas show loss of soil fertility, contamination by heavy metals and compaction. At the national and international scopes, studies developed in mined areas focus to the release of heavy metals into the soil, food crops and surface water and groundwater, highlighting, thus, the scarcity of studies that investigates changes in physical and chemical soil attributes due development of

the mining activity. In reclaimed or in recovery mines, quality assessment is restricted to reclaimed mine soil in the areas of mining, without investigating the changes in soil properties of the area of influence of mining. Reclaimed mine soils generally have high bulk density and amount of coarse fragments, low rate of water infiltration, lack of structure, increasing the pH and electrical conductivity, and loss in the concentrations of organic carbon and nitrogen.

KEYWORDS: environmental degradation; environmental contamination; soil properties.

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-93243-65-3



9 788593 243653