Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Avaliação da qualidade de solo de área de lixão desativado: uma revisão de literatura

Thaís Aparecida Costa da Silva¹, Rogério Melloni², Eliane Guimarães Pereira Melloni³, Poliana Paula Ramos⁴, Jamil de Moraes Pereira⁵

¹Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. (35) 3629-1726. thaiscostaga@gmail.com. ²Dr. em Agronomia, Professor Titular, Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. (35) 3629-1726. rogerio.melloni@gmail.com (autor correspondente). ³Dra. em Agronomia, Professor Associado IV, Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. (35) 3629-1727. eliane.melloni@gmail.com. ⁴Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. (35) 3643-1258. polianna.pr@hotmail.com. ⁵Dr. em Microbiologia Agrícola, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais "Campus Inconfidentes-MG". Praça Tiradentes, 416, centro, CEP 37576000, Inconfidentes, Minas Gerais. (35) 3464-1200. jamilmpereira@gmail.com.

Artigo recebido em 26/04/2019 e aceito em 06/04/2020

RESUMO

Os lixões são caracterizados pela simples disposição final de resíduos sólidos sobre o solo sem qualquer medida de controle ambiental, impactando negativamente o meio em função da geração de gases, chorumes e outros subprodutos da degradação do material orgânico e inorgânico. Desde 2010 o Brasil tem buscado a desativação dos lixões. No entanto, o encerramento das atividades dos lixões resulta em áreas que sofreram degradação ambiental e necessitam de recuperação. O solo é considerado o principal desafio nos projetos de recuperação destas áreas, uma vez que seus atributos químicos, físicos e biológicos são fortemente afetados. O presente estudo teve como objetivo descrever sobre a utilização de indicadores de qualidade do solo, já estabelecida para situações agrícolas, em áreas de lixão desativado. Para tal, foi realizada uma revisão de literatura baseada em materiais científicos, legislações e documentos sobre gerenciamento dos resíduos sólidos publicadas sobre este assunto no período de 2012 a 2018. O emprego de indicadores de qualidade de solo em lixão desativado tem se tornado cada vez mais comum. No entanto, ainda são raros os estudos que combinam o emprego de indicadores físicos, químicos e biológicos na avaliação da condição ambiental destas áreas. A avaliação de áreas de lixão desativado por meio de um conjunto de indicadores torna-se essencial no processo de estabelecimento de projetos específicos de recuperação destas áreas.

Palavras-chave: Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Disposição Final, Saúde do solo.

Evaluation of the quality of soil from disposal of disposal of land: a literature review

ABSTRACT

The dumps are characterized by simple final disposal of solid waste on the soil without any environmental control measure, impacting negatively the environment in function to the generation of gases, slurries and other by-products of organic and inorganic material degradation. Since 2010 Brazil has sought the disabling of drums. However, the closure of the activities of the dumps results in areas that have suffered environmental degradation and need recovery. The soil is considered the main challenge in recovery projects in these areas, since their chemical, physical and biological attributes are strongly affected. This study aimed to describe the use of soil quality indicators for the evaluation of environmental condition in the disabled dump area. For this, a literature review was carried out based in scientific materials, legislation and documents about solid waste management published on this subject in the period from 2012 to 2018. The use of soil quality indicators in dump disabled area has become increasingly common. However, studies that combine physical, chemical and biological indicators in the assessment of the environmental condition of these areas are still rare. The assessment of disable dump areas by a set of indicators becomes essential in the process of establishing specific recovery projects in these areas.

Keywords: Solid Waste Management, Final Disposal, Soil health.

Introdução

O gerenciamento dos resíduos sólidos (RS) tem sido considerado um desafio para o Brasil, uma vez que o aumento da geração dos RS tem sido crescente ao longo dos anos segundo os dados apresentados pela Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) (Abrelpe, 2014; Abrelpe, 2015; Abrelpe, 2017). Em especial, muitas discussões têm sido direcionadas para os sistemas de disposição final, uma vez que o Brasil dispõe de grande parte dos seus RS em lixões (Abrelpe, 2015).

Os lixões são caracterizados pela simples descarga de resíduos sólidos sobre o solo sem qualquer medida de proteção ambiental (Oliveira et al., 2013), o que consequentemente acarreta diversos impactos negativos ao meio ambiente, principalmente ao solo e a água. Tais impactos estão relacionados entre outros fatores, à alta geração de chorume de origem da degradação dos resíduos orgânicos dispostos nos lixões, resultando na contaminação do meio (Resende et al., 2013; Araújo, 2014).

A problemática ambiental dos RS no Brasil não está ligada somente à disposição final, como a outros aspectos que envolvem o gerenciamento dos resíduos. A fim de estabelecer diretrizes para tal gerenciamento, em 2010, foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei Federal nº 12.305/2010, que determinou que os RS deveriam receber destinação e disposição adequada, determinando então, que os lixões em funcionamento no país deveriam ter suas atividades encerradas até o ano de 2014 (Brasil, 2010a). Em função da determinação legal imposta pela PNRS, muitos municípios iniciaram projetos de desativação dos lixões.

O encerramento das atividades dos lixões leva à redução dos impactos negativos causados ao meio em função de seu funcionamento, no entanto, a desativação não erradica todos os impactos relativos à sua existência, sendo necessária a realização de projetos de recuperação das áreas dos lixões desativados (Resende et al., 2015). O processo de recuperação dos lixões desativados apresenta diversos desafios, seja pela possibilidade de contaminação em função da degradação dos resíduos, como também em função do solo existentes nestas áreas, uma vez que são considerados solos construídos, resultado do aterramento da massa de resíduos, ou seja, não

possuem características de um solo natural (Rosa e Dalmorin, 2009).

Diante deste contexto, o conhecimento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é essencial para a realização de projetos de recuperação destas áreas degradadas, afinal, estes aspectos determinam a condição ambiental da área, permitindo determinar qual a melhor técnica a ser adotada para recuperar estas áreas (Resende et al., 2015; Rocha et al., 2015).

A análise dos atributos do solo tem sido amplamente utilizada em estudos que buscam avaliar a condição ambiental ou a saúde do solo (Yada et al., 2015; Lima et al., 2017; Freitas et al., 2017), sendo descritos na forma de indicadores de qualidade, os quais se tratam de propriedades mensuráveis que indicam a capacidade do solo de sustentar e promover a qualidade ambiental (Lisboa et al., 2016; Stumpf et al., 2016).

Os indicadores físicos, químicos e biológicos devem ser analisados em conjunto, permitindo uma maior representatividade de quais as características apresentadas pela área de estudo, uma vez que os indicadores físicos fornecem informações sobre os processos hidrológicos e estabilidade do solo (Lisboa et al., 2016), enquanto os indicadores químicos refletem a fertilidade (Freitas et al., 2017). Já os indicadores biológicos, indicam a capacidade de resiliência nos projetos de recuperação, e devido sua alta sensibilidade ao manejo adotado no solo, permitem inferir sobre a necessidade de intervenções antrópicas para promover a recuperação das áreas degradadas (Fidelis et al., 2016).

Diante do exposto, pode-se dizer que o conhecimento dos indicadores de qualidade do solo é essencial para compreender a condição ambiental apresentadas nas áreas degradadas (Lisboa et al., 2016), podendo ser considerada uma importante ferramenta no estudo de lixões desativados.

Em virtude da necessidade e da urgência de se avaliar a condição do solo pós desativação de lixão. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo descrever sobre a utilização de indicadores de qualidade do solo, já estabelecida para situações agrícolas, em áreas de lixão desativado. Para tal, foi realizada uma revisão de literatura baseada em materiais científicos, legislações e documentos sobre gerenciamento dos resíduos sólidos publicadas sobre este assunto no período de 2012 a 2018.

Desenvolvimento

Resíduos sólidos: contextualização geral, disposição final e desativação dos lixões

Antes de tratar o assunto de qualidade do solo em áreas de lixão desativado, deve-se padronizar os termos aqui explicitados. Assim, resíduo sólido pode ser conceituado sob diversos aspectos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) o define como “material, substância, objeto ou bem descartado resultando de atividades humanas em sociedade” (Brasil, 2010a, p.1).

O gerenciamento dos RS no Brasil tem enfrentado diversos desafios, sendo o principal no que diz respeito ao aumento da geração, a qual tem se mostrado gradativo ao longo dos anos. De acordo com o Panorama Nacional de Resíduos Sólidos, publicados pela Abrelpe no ano de 2014, a geração dos RS entre 2013 e 2014 aumentou 2,9%, sendo esta situação também observada entre 2016 e 2017, onde o aumento foi de 1%.

É interessante mencionar que o aumento na geração dos resíduos sólidos não está ligado somente ao crescimento populacional, uma vez que a geração *per capita* dos resíduos sólidos urbanos (RSU) também tem se demonstrado crescente, segundo dados da Abrelpe (2017).

Os dados da Abrelpe indicam o aumento constante da geração de RS no Brasil ao longo dos anos, sendo este comportamento justificado por alguns autores pela elevação do padrão de consumo e ao poder de compra (Pereira e Curi, 2013), que está intimamente ligada ao aumento do consumismo.

O aumento da geração dos RS não impacta somente o meio ambiente, como também está relacionado a questões econômicas, uma vez que a disposição final adequada de todo este montante de RS em grande parte é de responsabilidade do Estado. Logo, com o aumento da geração de RS há o consequente aumento do investimento no que diz respeito ao gerenciamento dos RS, impactando os cofres públicos (Pereira e Curi, 2013).

A fim de minimizar o aumento da geração dos RS e os impactos da sua destinação, na PNRS foi determinada a Política dos 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), tendo como principal ideal a redução do volume de RS gerados e, em caso de geração, é incentivado o reaproveitamento destes resíduos de alguma forma, adotando a disposição final como a última alternativa (Rodrigues e Menti, 2018). No entanto, o que tem sido observado é ineficiência desta política, uma vez que o Brasil tem encaminhado para disposição final, volumes crescentes de RS.

Quando se fala especificamente da disposição e destinação final dos RSU, pode-se

considerar que estes processos variam de acordo com as características dos RS e o país, mas é possível afirmar que, quanto menor o poder aquisitivo do país mais precário é o sistema de destinação e disposição final dos resíduos sólidos (The World Bank, 2012).

No Brasil, são adotadas três principais formas de disposição final dos RS, sendo estes: lixão, aterro controlado e aterro sanitário (Oliveira et al., 2013). Os lixões, também conhecidos como vazadouros, é uma forma considerada inadequada de disposição de resíduos sólidos (Vale, 2007), pois é caracterizado pela simples descarga de resíduos sobre o solo, sem qualquer medida de proteção ambiental (Oliveira et al., 2013). De acordo com o Manual Integrado de Resíduos Sólidos, a disposição final de RSU em lixões provoca uma série de impactos ambientais negativos, como a contaminação do solo e da água, por meio da percolação do chorume gerado pela degradação do material orgânico disposto (Araújo, 2014).

O encaminhamento dos RS para os lixões está relacionado ao poder econômico, onde os números apontam que os países desenvolvidos encaminham 50 mil t/ano para os lixões, enquanto em países subdesenvolvidos são mais de 27 milhões t/ano (The World Bank, 2012). Esta relação entre poder econômico e encaminhamento dos resíduos sólidos é nítida quando analisados os dados referentes à disposição final das regiões brasileiras, onde é observado que aquelas que possuem melhores condições econômicas apresentam menor destinação de resíduos para os lixões, assim como descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Disposição final dos resíduos sólidos em lixões nas regiões brasileiras.

Região	Percentual de resíduos sólidos dispostos em lixões
Norte, Nordeste e Centro-Oeste	60-70 %
Sudeste	29 %
Sul	27 %

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2015).

Outro sistema de disposição final dos RSU são os aterros controlados, os quais utilizam

princípios de engenharia para confinar RS, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Tal sistema de disposição é visto como um sistema intermediário de disposição dos RSU (Oliveira et al., 2013). O aterro controlado pode ser conceituado, ainda, como “uma técnica utilizada para confinar os resíduos sólidos urbanos sem poluir o ambiente externo, porém, sem a implementação de elementos de proteção ambiental” (Feam, 2008, p.16).

Também como sistema de disposição final dos RS, encontra-se o aterro sanitário, considerado o sistema mais adequado para disposição dos resíduos sólidos. Trata-se de um processo que se fundamenta em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de Controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. “O aterro sanitário é a maneira considerada ambientalmente correta para a eliminação dos rejeitos, ou seja, uma operação que não visa, como fim, sua valorização” (Abrelpe, 2015, p.15).

A disposição final dos RS em aterros sanitários tem sido cada vez mais realizada, afinal, a PNRS determinou que os RS gerados devem receber destinação e disposição final adequada, fazendo com que haja a redução de danos ou riscos à saúde pública e ao meio ambiente (Brasil, 2010b), sendo os aterros sanitários a melhor técnica de disposição final.

De acordo com o Panorama Nacional de Resíduos Sólidos de 2015, em 2014, 30,3% dos municípios brasileiros realizavam a disposição de seus RSU em aterros sanitários. Já em 2015, foi de 30,5%, havendo um aumento de 155 municípios ao longo de um ano (Abrelpe, 2015). Apesar dos números de aterros sanitários se mostrarem

crescentes, o Brasil ainda conta com cerca de 3000 lixões em funcionamento, distribuídos por todos os estados do território nacional (Abrelpe, 2017).

Com relação à erradicação dos lixões e o uso dos aterros sanitários como sistema de disposição final dos RS, é interessante considerar que quando encerrados, há a minimização dos impactos ambientais negativos decorrentes de sua atividade. No entanto, após sua desativação, é observada uma área que sofreu degradação ambiental, necessitando, assim, de um projeto de recuperação, de forma a reduzir os impactos decorrentes de sua existência. Afinal, mesmo com a desativação, os resíduos dispostos continuam seu processo de degradação por muitos anos, impactando o solo e a água ao longo deste tempo (Pastor e Hernández, 2012).

Resende et al. (2015, p. 148) afirmam que as áreas destinadas à disposição de RSU na forma de lixões “encontram-se degradadas e necessitam da elaboração de um plano de recuperação e revegetação, além do monitoramento ao longo dos anos para avaliar a dinâmica das espécies implantadas e de sucessão da área”.

A elaboração de projetos de recuperação das áreas de lixão desativado é complexa devido às condições específicas de cada área degradada, “ao grau de comprometimento e aos recursos financeiros disponíveis pelo município” (Feam, 2008, p.35).

Neste sentido, é importante a realização de estudos que caracterizem a área degradada de lixões desativados, antes de determinar as técnicas de recuperação, afinal, a partir do conhecimento da área torna-se possível determinar as técnicas que serão realmente eficientes no processo de recuperação destas áreas (Rezende et al., 2013).

O solo na recuperação de áreas de lixão desativado

O solo é considerado um recurso natural de suma importância para o funcionamento e equilíbrio do ecossistema terrestre, sendo assim, suas características são capazes de refletir a condição apresentada pelo meio onde está inserido (Rosa e Dalmorim, 2009).

Os procedimentos adotados pelos municípios no processo de desativação dos lixões não são estabelecidos por um padrão. Geralmente, é realizada a compactação da massa de RS e, em seguida, é feita a cobertura da mesma a partir de um substrato inerte, em grande maioria, solo de áreas de empréstimo (Alves, 2016).

Em função do recobrimento da massa de RS com solo de área de empréstimo, tem-se uma

camada de solo construído ou solo antropogênico, o qual não possui características da formação de horizontes naturais. Em especial, quando se fala de lixões é observado um solo antropogênico, influenciado quimicamente pelo tipo de resíduos sólidos dispostos na área e fisicamente pela forma com que foi inserido sobre a massa de resíduos (Rosa e Dalmorim, 2009).

Os procedimentos realizados na desativação dos lixões são determinantes para o processo de recuperação destas áreas. De um modo geral, o solo encontrado sobre a massa de RS é caracterizado por uma fina camada, com grande compactação (Melo Junior et al., 2015). Além destes solos não possuírem as características físicas

de um perfil natural, muitas vezes ainda demonstram baixa fertilidade (Resende et al., 2015), aspectos estes, que dificultam o desenvolvimento de plantas, impactando o processo de regeneração natural, sendo necessárias intervenções para a recuperação.

Além das características físicas e químicas do solo, a geração de chorume, que pode se estender ao longo dos anos após a desativação do lixão (Pastor e Hernández, 2012), é capaz de influenciar o processo de recuperação, em virtude da liberação de diversos materiais tóxicos no solo, como metais pesados e outros elementos como o nitrogênio que, em excesso, podem impactar o

desenvolvimento de espécies vegetais (Araújo, 2014; Melo Júnior et al., 2015).

Estes fatores, associados a outros aspectos como a topografia da área degradada e o atual uso do solo, influenciam diretamente no processo de recuperação da área degradada, sendo essencial, o estudo do solo destas áreas (Pastor e Hernández, 2012). Para Lima et al. (2017) a análise criteriosa das características do solo, muitas delas consideradas como indicadores, permite verificar a condição ambiental das áreas degradadas, possibilitando avaliar todas as variáveis envolvidas e determinar a melhor técnica para recuperação da área de lixões desativados.

Indicadores na avaliação da qualidade do solo de áreas degradadas

Indicadores de qualidade do solo são atributos que medem ou refletem o *status* ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Os indicadores de qualidade do solo têm sido amplamente utilizados para caracterizar a condição ambiental de áreas perturbadas (Lisboa et al., 2016; Adamcová et al., 2016). Tais indicadores são atributos mensuráveis que podem se apresentar de forma quantitativa ou qualitativa (Lisboa et al., 2016).

A partir da análise dos indicadores de qualidade do solo é possível realizar a caracterização das áreas degradadas e, além disso, possibilita realizar o acompanhamento das alterações ocorridas no solo em função do manejo realizado na área (Yada et al., 2015). Freitas et al. (2017) evidenciaram, em seus estudos, que a utilização de indicadores de qualidade na avaliação da condição ambiental do solo ao longo do tempo é eficiente, afinal, torna possível quantificar a magnitude e a duração das alterações provocadas por diferentes manejos. A partir deste acompanhamento é possível determinar se está ocorrendo a resiliência da área degradada ou se é preciso realizar intervenções para auxiliar o processo de recuperação (Stumpf et al., 2016).

Além do acompanhamento das áreas degradadas ao longo do tempo, os indicadores de qualidade permitem distinguir as características apresentadas pela área degradada ao longo de seu perímetro. A obtenção de informações que vão neste sentido permite otimizar o processo de recuperação, uma vez que é possível determinar técnicas específicas para cada extensão onde houve degradação, afinal, o processo de degradação nem sempre é homogêneo (Lisboa et al., 2016).

A utilização destes indicadores permite verificar a qualidade do solo, e é obtida por meio da análise dos atributos físicos, químicos e

biológicos (Rosa et al., 2015). Em função de cada atributo ser capaz de demonstrar características específicas sobre o solo, torna-se necessário o uso conjunto destes indicadores (Melloni et al., 2018).

Na realização de estudos do solo a partir do uso de indicadores de qualidade é necessário adotar uma área de comparação, a qual deve se encontrar sob condições naturais ou pouco perturbadas (Rocha et al., 2015). Nos casos em que a área de estudo se encontra localizada em uma região próxima a fragmentos de mata, é recomendado o uso destes como área comparação (Lisboa et al., 2016). Já em casos em que os fragmentos de mata não fazem parte do uso e ocupação do solo na região onde a área de estudo está inserida deve-se adotar como área de comparação aqueles que se aproximam da realidade local (Yada et al., 2015; Fidelis et al., 2016).

Indicadores de qualidade do solo em áreas de lixão desativado

Especificamente em áreas de lixões, a análise dos indicadores químicos e físicos tem sido frequente (Nascimento, 2017). No entanto, os biológicos têm ganhado cada vez mais espaço nos estudos de solo em geral, o que inclui a análise das áreas de lixão desativado (Rosa e Dalmorin, 2009).

Indicadores físicos

Os indicadores físicos são capazes de determinar como estão ocorrendo os processos hidrológicos no solo como: taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Estes indicadores permitem analisar a dinâmica do solo, de modo a justificar possíveis situações observadas nas áreas de estudo, como exemplo, pode-se mencionar que as altas taxas de compactação e

presença de erosão podem justificar a ausência de plantas sobre o solo (Freitas et al., 2017).

Entre os principais indicadores físicos de qualidade do solo encontram-se: a textura, porosidade total, densidade do solo e de partículas, estabilidade de agregados (Gomes e Filizola, 2006; Stumpf et al., 2016), umidade (Araújo et al., 2012), e resistência à penetração (Oliveira et al., 2014).

A textura é considerada um atributo estável, pouco modificada pelo manejo do solo. Contudo, é capaz de refletir a composição de areia, silte e argila, o que está relacionado com a estabilidade do solo, mesmo considerado antropogênico, e com outros aspectos relacionados à drenagem da água, como infiltração e capacidade de retenção (Araújo et al., 2012).

A porosidade e a densidade do solo são aspectos diretamente influenciados pelo manejo do solo como e de fácil determinação em laboratório. A análise destes parâmetros permite analisar condições de restrição ao crescimento de plantas de desenvolvimento das raízes (Araújo et al., 2012).

No estudo de Oliveira et al. (2016), em área de lixão em funcionamento, foi adotada a densidade de partículas (DP) como indicador de qualidade, observando-se uma DP de 2,55 g/cm³ na área de lixão, enquanto na área adotada como referência esse valor foi de 2,38 g/cm³. Nascimento (2017) também utilizou este indicador em área de lixão desativado e encontrou valor de DP de 2,50 g/cm³. Stefanoski et al. (2013) e Oliveira et al. (2013) concluíram que a DP não foi um indicador que apresenta grandes variações entre a área do lixão e as áreas utilizadas como referência, uma vez que este indicador está ligado às características do material de origem e, caso o solo tenha a mesma origem, poderá ser obtida pouca variação de DP.

A estabilidade de agregados permite inferir sobre a erodibilidade, pois influencia os processos hidrológicos e a aeração do solo, aspectos considerados essenciais para a manutenção do equilíbrio no solo. Ainda, a partir da análise deste indicador, torna-se possível determinar se há necessidade de adoção de técnicas de estabilização do solo na área estudada (Araújo et al., 2012).

De um modo geral, Stumpf et al. (2016) recomendam que a estabilidade dos agregados seja utilizada como indicador de qualidade no estudo de áreas degradadas, uma vez que é capaz de indicar aspectos sobre a estrutura física do solo, permitindo inferir sobre processos erosivos.

A resistência à penetração refere-se à compactação do solo e é capaz de justificar o motivo pelo qual as plantas encontram dificuldades de se desenvolver. Tem sido utilizada em estudos de lixões em funcionamento ou posterior à desativação, mas, de modo geral, as áreas onde

houve disposição de resíduos apresentam-se compactadas, o que pode estar relacionado com os procedimentos adotados na desativação, que inclui a compactação do material inerente utilizado para recobrimento da massa de RS (Oliveira et al., 2014).

Ao analisar estudos que utilizaram indicadores físicos para avaliar a condição ambiental em área de lixão, é possível considerar que estes ainda se apresentam em número reduzido em relação a estudos que utilizaram outros indicadores, como os químicos, por exemplo, (Medeiros et al., 2008; Costa et al., 2017), porém são considerados eficientes na avaliação da condição ambiental de áreas de lixão desativado (Oliveira et al., 2013; Oliveira et al., 2014; Nascimento, 2017).

Indicadores químicos

O estudo dos atributos químicos do solo permite analisar a fertilidade presente na área (Freitas et al., 2017), mesmo aquela de lixão desativada. Estes indicadores podem ser avaliados através de diversos aspectos como: teor de matéria orgânica, acidez do solo, conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos, relações como saturação de bases e de alumínio, capacidade de troca de cátions (CTC), óxidos de ferro e óxidos de alumínio (Araújo et al., 2012, Freitas et al., 2017).

No entanto, alguns indicadores são recomendados em alguns estudos como essenciais para determinar a condição ambiental do solo, como pH e matéria orgânica, em função de influenciarem diretamente no crescimento e desenvolvimento de plantas (Costa et al., 2017). Rezende (2018) destaca que a análise do teor de fósforo, matéria orgânica e pH são fundamentais nos estudos em áreas de destinação final de RS, em função do material orgânico depositado alterar, de forma significativa, estes atributos.

Gomes e Filizola (2006) e Martins et al. (2017) remendam que no estudo de áreas de lixão, os indicadores químicos não sejam utilizados somente para determinar a fertilidade, como também para analisar a contaminação e poluição de metais pesados, contaminantes comuns em áreas de disposição final de RS. A análise destes indicadores químicos é capaz de demonstrar se há elementos em excesso no solo, impedindo o desenvolvimento de plantas (e consequente cobertura e proteção de processos erosivos), o que impacta diretamente sobre a recuperação da área degradada.

Para avaliar se a concentração dos metais pesados presentes nas áreas dos lixões desativados

é considerada alta a ponto ser caracterizada como contaminada, os valores observados são comparados com a Resolução CONAMA n° 420/2009, a qual 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 (Conama, 2009).

Oliveira et al. (2014) recomendam que estudos que têm por finalidade diagnosticar a presença de metais pesados, seja interessante analisar os teores dos seguintes elementos potencialmente tóxicos: chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), arsênio (As), níquel (Ni) e cromo (Cr). A recomendação do uso destes indicadores está baseada no fato de que estes elementos estão presentes em diversos tipos de resíduos levados para os sistemas de disposição final, sendo encontrados em: lâmpadas, pilhas, baterias, produtos farmacêuticos e em diversos componentes eletrônicos.

O pH é considerado um atributo comum nos estudos de solo envolvendo área de lixão. Ao considerar estudos que utilizaram este indicador para avaliação da condição ambiental em lixões é possível observar os seguintes valores: 4,4 em lixão em funcionamento (Costa et al., 2017), 4,6 (Oliveira et al., 2016), 5,11 em lixão desativado (Ramalho et al., 2014), 5,3 em lixão desativado (Medeiros et al., 2008) e 5,4 em lixão desativado (Corrêa et al., 2018).

Quando comparados os valores de pH entre as áreas onde há disposição final e as áreas adotadas como controle, Costa et al. (2017) descreveram que houve tendência de valores mais elevados de pH onde há disposição de resíduos sólidos, o que é justificado em função do composto de lixo possuir humatos alcalinos.

A Soma de Bases (V%) também pode ser utilizada para avaliar a condição ambiental de áreas de lixão. De um modo geral, apresentam grande variação como pode ser observado no estudo de Côrrea et al. (2018) que observaram um V% de 45,8% no solo de um lixão em funcionamento e Resende et al. (2013) de 63,7% em aterro controlado.

Os macronutrientes, de um modo geral, são utilizados na avaliação da qualidade do solo em áreas de lixões e considerados muito sensíveis para indicar a condição do solo, uma vez que a incorporação dos resíduos orgânicos no solo é capaz de aumentar os teores de macronutrientes (Bonini et al., 2015).

Resende et al. (2013) adotaram o uso dos macronutrientes para indicar a qualidade do solo em aterro controlado e observou os seguintes

valores: 4,6 cmol/dm³ para P (fósforo), 103 cmol/dm³ para K, 1,6 para Ca (cálcio) cmol/dm³ e 0,89 cmol/dm³ para Mg (magnésio). Oliveira et al. (2016) também utilizou estes indicadores e observou os seguintes valores: 3,1 cmol/dm³ para P, 99 cmol/dm³ para K (potássio), 0,6 cmol/dm³ para Ca e 0,3 cmol/dm³ para Mg.

Os micronutrientes também são utilizados com frequência e assim como os macronutrientes são sensíveis à disposição de resíduos no solo. Medeiros et al. (2008), em área de lixão desativado, observaram teores de 0,1 mg/dm³ para zinco (Zn), 10 mg/dm³ para Fe (Ferro), 2,9 mg/dm³ para Mn (Manganês), 0,2 mg/dm³ para cobre (Cu) e 0,16 mg/dm³ para Bo (Boro). Costa et al. (2017) obtiveram os valores de 31,62 mg/dm³ para Fe e 56,06 mg/dm³ para Zn (Zinco).

A matéria orgânica (MO) tem sido considerada um bom indicador de qualidade na análise do equilíbrio do solo, incluindo as áreas de lixão, visto que está envolvida com diversos fatores que atuam na recuperação do solo, seja através do fornecimento de nutrientes, como também da mineralização e, até mesmo, na estrutura e vida no solo (Bonini et al., 2015). Em função da disposição de resíduos orgânicos durante o funcionamento dos lixões, os teores de MO tendem a ser elevados. Ramalho et al. (2014), ao estudarem a MO como indicador de qualidade do solo de um lixão desativado, também encontraram valores altos, de 3,64 dag/dm³.

Segundo Machado et al. (2014), a análise dos atributos químicos e físicos, quando utilizados como indicadores de qualidade do solo, deve ser realizada de forma conjunta, pois fatores químicos podem interferir na física do solo. Como exemplo desta relação, é possível mencionar o comportamento e composição da matéria orgânica do solo, a qual é capaz de explicar fatores de estabilização do solo.

Indicadores biológicos

Os atributos do solo, bem como sua qualidade, são influenciados por diversos fatores, principalmente, pelos organismos que o habitam. Devido a sua importância para a manutenção do equilíbrio do ecossistema, os atributos biológicos do solo têm sido utilizados, nos últimos anos, para indicar a qualidade do solo (Garcia e Catanozi, 2011; Mendes et al., 2015).

O estudo de indicadores biológicos de qualidade do solo é muito importante para entender os processos ecológicos que ocorrem em áreas perturbadas ou em processo de recuperação, afirmam Oliveira Filho et al. (2014).

Ao definir os atributos biológicos do solo a serem analisados, em áreas diversas, incluindo de lixão desativado, faz-se necessária a observação de alguns critérios, sendo eles: os indicadores devem ser fáceis de serem quantificados e de baixo custo, serem exatos e sensíveis aos impactos, terem validação científica e serem robustos para evitar alarmes falsos (Kaschuk et al., 2010).

Os indicadores biológicos não possuem níveis definidos para sua interpretação, o que torna complexa a análise dos resultados obtidos por meio destes indicadores. Sendo assim, é necessário o uso de áreas referências, como já mencionado anteriormente, as quais permitirão a realização de comparações entre as áreas de estudo e áreas de referência (Mendes et al., 2015).

Os indicadores biológicos são muito sensíveis ao manejo realizado no solo, logo, são capazes de demonstrar se os organismos presentes nas áreas estudadas estão realizando seus serviços ambientais e, a partir desta análise, julgar sobre sua relação com o processo de recuperação da área degradada (Stefanoski et al., 2013).

Estes indicadores têm ganhado espaço nos estudos de solo nos últimos dez anos e sua utilização em áreas de lixões desativados é recente, estando presente ainda em poucos estudos como de Araújo e Monteiro (2007).

Os indicadores biológicos de qualidade do solo podem ser avaliados através de microrganismos ou da fauna edáfica. Os organismos do solo são responsáveis diretos pelo funcionamento do solo, pois atuam nos processos de gênese, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e biorremediação de áreas contaminadas por poluentes e agrotóxicos, o que justificam sua inclusão como indicadores na avaliação da qualidade do solo (Kaschuk et al., 2010; Mendes et al., 2015).

Os microrganismos podem ser analisados sob diversos aspectos quando se trata da análise da condição ambiental de áreas que sofreram perturbação, pois são altamente sensíveis ao manejo do solo (Kaschuk et al., 2010). Estes são avaliados na forma de atividades enzimáticas, estudos específicos de grupos de fungos e bactérias (Yada et al., 2015). No entanto, os estudos mais comuns são direcionados à análise dos seguintes indicadores: biomassa microbiana e atividade microbiana (Yada et al., 2015).

A biomassa microbiana é o componente vivo da matéria orgânica presente no solo, não incluindo a fauna edáfica e as raízes das plantas. É responsável pelo controle de funções-chaves no solo como a decomposição e acúmulo de matéria orgânica, ou transformações envolvendo nutrientes minerais (Araújo e Monteiro, 2007). De acordo

com Yada et al. (2015), as transformações mediadas pela biomassa microbiana são catalisadas por enzimas, de modo que a quantificação de enzimas do solo indica alterações nos processos metabólicos e, aliada aos atributos biológicos, fornece indicativo do estágio de recuperação de áreas degradadas.

A atividade microbiana representa a fração viva da biomassa microbiana, e esta é largamente responsável pelas transformações de nutrientes, além de estar intimamente ligada à fertilidade e estrutura do solo (Melloni, 2007). É um indicador importante para indicar a sustentabilidade dos sistemas de produção, pois exercem funções essenciais para garantir a saúde do solo, como ciclagem de nutrientes, melhoria das relações ecológicas como equilíbrio da cadeia alimentar. De um modo geral, a atividade microbiana é mais elevada nas primeiras camadas do solo, geralmente na profundidade de 1 a 30 cm. Esta situação se justifica em função da maior fração da matéria orgânica estar presente na camada superficial do solo (Fidelis et al., 2016).

A relação entre a respiração basal do solo (RBS) por unidade de biomassa microbiana, em determinado tempo, resulta no quociente metabólico (qCO_2), conforme proposto por Anderson e Domsch (1993), que reflete processos importantes relacionados às adições e transformações de matéria orgânica (Araújo et al., 2012). “O qCO_2 tem sido utilizado para estimar a eficiência do uso de substratos pelos microrganismos no solo”, como afirmam Silva et al. (2007, p. 4). Nesse sentido, em função de sua sensibilidade, esse indicador tem sido utilizado em vários estudos relacionados à qualidade do solo (Silva et al., 2010; Melloni et al., 2018).

Os estudos envolvendo microrganismos na avaliação da condição ambiental de áreas de lixões desativados têm sido raros. No entanto, são utilizados com muita frequência em estudos de áreas degradadas, como estudo de Yada et al. (2015) que utilizaram estes indicadores para avaliar o processo de recuperação em um ecossistema amazônico. Silva et al. (2010) também realizaram estudos em solos sob diferentes manejos no estado de Minas Gerais.

Já a fauna edáfica se refere à comunidade de invertebrados que vivem de forma permanente ou que passa parte do seu ciclo de vida no solo, a qual pode ser dividida em microfauna (invertebrados de diâmetro do corpo inferior a 100 μm), mesofauna (invertebrados de tamanho médio, de 100 μm a 2 mm) e macrofauna (organismos de maior diâmetro, de 2 mm a 20 mm) (Oliveira Filho et al., 2014).

A microfauna é composta por nematoides e protozoários, enquanto a mesofauna apresenta ácaros (Acarina), colêmbolos (Collembola), e outros de até 2 mm. Já a macrofauna é representada por mais de 20 grupos taxonômicos como os cupins (Blattodea), formigas (H. Formicidae), minhocas (Oligoqueta), piolhos de cobra (Diplópodes), etc. A macrofauna é representada por grupos diversos, tanto em termos morfológicos quanto comportamentais, entre outros de diâmetro superior a 20 e mais de 10 mm de comprimento (Oliveira Filho et al., 2014). Em função do diâmetro e facilidade de amostragem, a meso e a macrofauna têm sido utilizadas com maior frequência nos estudos de indicadores de qualidade do solo (Oliveira Filho et al., 2014). Além disso, o uso destes indicadores se justifica em função de serem considerados peças-chaves na cadeia alimentar, desempenhando funções que garantem o equilíbrio no solo, tais como fragmentação de materiais vegetais, auxílio na infiltração, ciclagem de nutrientes (Silva et al., 2012; Oliveira Filho et al., 2014; Bianchi et al., 2017).

Outras funções da fauna do solo são descritas por Rosa et al. (2015), destacando que os invertebrados são de extrema importância para o solo, pois tem o poder de interferência na formação de estruturas biogênicas, capazes de melhorar a estrutura, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e porosidade total. Oliveira Filho et al. (2014) destacam algumas outras funções destes organismos, como a melhoria da aeração da estrutura do solo, produtividade das plantas, ativação da biomassa microbiana, dispersão de sementes e controle de insetos.

Nesse sentido, a caracterização da fauna do solo por meio dos grupos taxonômicos pode contribuir para determinar padrões de qualidade do solo, pois os organismos estão associados a diversos processos ecológicos (Oliveira Filho et al., 2014).

A redução da diversidade de espécies ou alteração na estrutura da comunidade destes organismos pode representar indicativos de degradação do solo, pois a fauna edáfica reflete rapidamente alterações na vegetação e nas práticas de manejo adotadas no solo (Lima et al., 2017; Martins et al., 2017). A sensibilidade destes organismos, associada ao diâmetro e facilidade de solo, faz com que fauna seja alvo de muitos estudos voltados a compreender a dinâmica de áreas perturbadas (Silva et al., 2012; Oliveira Filho et al., 2014).

Assim como os indicadores microbiológicos, a fauna edáfica ainda não é utilizada com muita frequência em estudos de áreas degradadas por lixões desativados. No entanto, se

mostraram sensíveis para indicar a saúde do solo em áreas que sofreram intervenções em função de outras atividades antrópicas, como naquelas estudadas por Baretta et al. (2008) e Martins et al. (2017).

Para Rosa e Dalmolin (2009), o uso da fauna edáfica como indicador de qualidade de solos onde houve disposição de RSU deve ser considerado como peça fundamental para avaliar a condição ambiental, pela capacidade de responder a todo e qualquer estímulo que afete o ambiente solo.

Conclusão

Os atributos químicos, físicos e biológicos apresentam-se sensíveis para determinar a degradação ambiental ocorrida em função da disposição final dos resíduos sólidos em áreas de lixão desativado. No entanto, ainda são raros os estudos que combinam este conjunto de indicadores para avaliação da condição ambiental destas áreas, mesmo havendo um consenso entre as pesquisas de que a compreensão da dinâmica do solo é essencial para determinar quais técnicas são eficientes para a recuperação destas áreas.

Nesse sentido, os indicadores de qualidade do solo têm se mostrado como uma importante ferramenta para determinar a condição ambiental dessas áreas degradadas, fornecendo informações capazes de auxiliar no planejamento da técnica de recuperação a ser adotada.

Agradecimentos

Agradecemos a colaboração do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes, e da agência de financiamento CAPES, os quais contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Referências

- Abrelpe. Associação brasileira de empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2014. Panorama Nacional de Resíduos Sólidos. São Paulo: ABRELPE, 120 p.
- Abrelpe. Associação brasileira de empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2015. Panorama Nacional de Resíduos Sólidos. São Paulo: ABRELPE, 92 p.
- Adamcová, D. et al., 2016. Soil contamination in landfills: a case study of a landfill in Czech Republic. Solid Earth 7, 239-247.
- Alves, G.O. Degradação do solo em área de disposição irregular de resíduos sólidos no semi árido tropical. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado

- em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- Araújo, C.S. 2014. Qualidade do solo da camada de cobertura final em área de disposição final de resíduos no semiárido tropical. 2014. 42 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal.
- Araújo, E.A. et al., 2012. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia 5, 187-198.
- Baretta, D. et al., 2008. Colêmbolos (hexapoda: collembola) como Bioindicadores de qualidade do solo em Áreas com *araucaria angustifolia*. Revista Brasileira de Ciência do solo 31:2693-2699.
- Bianchi, M.O et al., 2017. Macrofauna Edáfica como Indicadora em Revegetação com Leguminosas Arbóreas. Floresta e Ambiente 8,1-8.
- Bonini, C.S.B., Alves, M.C., Montanari, R., 2015. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19, 388-393.
- Brasil. 2015. Projeto de Lei nº 2.289/15. Prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.
- Brasil. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010a. Brasília, DF.
- Conama. Resolução nº 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.
- Corrêa, J.V., Almeida, L.C.O., Ribeiro, F.R., 2018. Avaliação de impacto ambiental do lixão de Leopoldina – MG. In: CIDADE BEM TRATADA: Resíduos Sólidos, Água e Energias Renováveis, 1. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Unisinos. p.1-11.
- Costa, B.M.B. et al. 2017. Análise e caracterização química do solo em locais de acomodação de resíduos hospitalares no município de Cuité-PB. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 6, 83 – 100.
- Fidelis, R.R. et al., 2016. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão manso. Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, 9, 87-95.
- Freitas, L. et al., 2017. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. Unimar Ciências 26,08-25.
- Fundação Estadual do Meio Ambiente. Feam., 2008. Orientações técnicas para atendimento à deliberação Normativa 118/2008 do Conselho Estadual de Política. 3. ed. - Belo Horizonte: Feam. 46 p.
- Kaschuk, G. et al., 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. Soil Biology and Biochemistry 42, 1-13.
- Lima, K.R. et al., 2017. Soil fauna as bioindicator of recovery of degraded areas in the caatinga biome. Revista Caatinga 30, 401 – 411.
- Lisboa, F.M. et al., 2016. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. Pesquisa agropecuária brasileiro 9, p.1184-1193.
- Machado, L.V. et al., 2014. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo machado sob diferentes sistemas de manejo. Coffee Science 9, 289-299.
- Martins, L. F. et al., 2017. Composição da macrofauna do solo sob diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, eucalipto e mata nativa) em Jacutinga (MG). Revista agrogeoambiental 9, 11-23.
- Medeiros, G.A. et al., 2008. Diagnóstico do lixão do município de Vargem Grande do Sul, no estado de São Paulo. Revista Engenharia Ambiental 5, 1-16.
- Melloni, R. 2007. Quantificação Microbiana da Qualidade do Solo. In: Silveira, A.P.D., Freitas, S.S. Microbiota do solo. Campinas: Instituto Agrônomo. Cap. 11. p. 193-218.
- Melloni, R. et al. 2018. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. Ciência Florestal 28, 784-795.
- Melo Júnior, J.C.F., et al., 2015. Diversidade e estrutura comunitária da vegetação em regeneração natural em uma área de lixão desativado. Acta Biológica Catarinense 2, 32-47.
- Mendes, I.C., Sousa, D.M.G., Reis Júnior, F.B., 2015. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. Cadernos de Ciência & Tecnologia 32, 185-203.
- Nascimento, D.S. Qualidade ambiental do solo no lixão desativado de Cidade Nova, Natal-RN. 2017. 21 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- Oliveira Filho, L.C.I, Baretta, D., Santos, J.C.P., 2014. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. Revista Biotemas 27, 69-77.
- Oliveira, B.O.S. et al., 2016. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. Engenharia Sanitária e Ambiental 21, 593-601.

- Oliveira, L.F.C. et al., 2013. Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 18, 139-148.
- Oliveira-Filho, L.C.I et al. 2014. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. *Revista Biotemas* 27, 69-77.
- Pastor, J., Hernández, A.J. 2012. Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: Determinants for restoring their impact. *Journal of Environmental Management* 95, 542-549.
- Pereira, S.S., Cury, R.C. 2013. Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de materiais recicláveis no processo de gestão ambiental. In: Lira, W.S., Cândido, G.A., orgs. *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa* [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 149-172.
- Ramalho, I. et al., 2014. Avaliação da intemperização do solo de uma área de lixão na cidade de Tucuruí - Pará - Brasil. In: *International Conference on Engineering and Technology Education*, 13. 2014. Guimarães - Portugal. *Anais... Guimarães: Intertech*. p. 418-422.
- Resende, L.A. et al., 2015. Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas em diferentes modelos de plantio na recuperação de área degradada por disposição de resíduos sólidos urbanos. *Revista Árvore* 39, 147-157.
- Resende, L.A., 2013. et al. Fertilidade do solo em aterro controlado e sua influência na sobrevivência de espécies arbóreas em diferentes modelos de plantio. In: *Jornada Científica e Tecnológica*, 5. 2013. Inconfidentes. *Anais... Inconfidentes: Ifsuldeminas*. p 287-298.
- Rezende, D.A. 2018. Qualidade do solo em local de disposição inadequada de resíduos sólidos em um município de pequeno porte. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Rocha, J.H.T. et al., 2015. Reflorestamento e recuperação de atributos químicos e físicos do solo. *Floresta e ambiente* 22, 299-306.
- Rodrigues, C.R., Menti, M.M., 2018. Revisão das políticas públicas de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Município de Porto Alegre. *Revista Direito Ambiental e sociedade*, 8,42-64.
- Rosa, A.S.; Dalmolin, R.S.D., 2009. Fauna edáfica em solo construído, campo nativo e lavoura anual. *Ciência Rural* 39, 913-917.
- Rosa, M.G. et al., 2015. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Sol* 39,1544-1553.
- Silva, E.E.; Azevedo, P.H.S; De-Polli, H. 2007. Determinação da Respiração Basal do Solo (RBS). *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*. 4 p. (Embrapa Agrobiologia, Comunicado Técnico 99).
- Silva, J., Jucksch, I., Tavares, R. C., 2012. Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agroecologia* 7, 112-125.
- Silva, R.E. et al. 2010. Campos das Vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34, 1585-1592.
- Stefanoski, D.C. et al., 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17,1301–1309.
- Stumpf, L. et al., 2016. Recuperação de solos degradados por mineração de carvão: indicadores de qualidade e espécies vegetais. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 11: 210-217.
- The Word Bank., 2012. *What a waste: A global review of solid waste management*. 15. ed. Washington: Urban Development & Local Government Unit. 116 p.
- Vale, C.S. 2007. Custos ambientais, sociais e econômicos da escolha inadequada de local pra disposição final de resíduos sólidos: o caso da cidade de Juiz de Fora. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Yada, M. M. et al., 2015. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39, 714-724.