

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO ESTABELECIMENTO DE ESPÉCIES VEGETAIS LEGUMINOSAS EM SUBSTRATO DEGRADADO DE UM ATERRO SANITÁRIO

* Allan de Freitas Magalhães ¹
Sofia Regina Lopes ²
João Carlos Costa Guimarães ³
Gustavo Ferreira Simões ⁴

ASSESSMENT OF LEGUMINOUS PLANT SPECIES ESTABLISHMENT IN DEGRADED SUBSTRATE OF A LANDFILL

Recibido el 4 de octubre de 2019; Aceptado el 30 de abril de 2020

Abstract

The study of particularities of plant species in degraded substrate of landfills can improve the development of methods to evaluate the success of environmental remediation of final covers of landfills, especially in the case of plants establishment through the root system. The study assessed the performance of *Cajanus cajan* (*C. cajan*), *Crotalaria breffiflora* (*C. breffiflora*), *Crotalaria juncea* (*C. juncea*) and *Crotalaria ochroleuca* (*C. ochroleuca*) in a degraded substrate of a landfill. The experiment was conducted at Belo Horizonte Landfill, MG, Brazil. After 30 days the density of plants was measured, and individual size of aerial part (length and wet/dry biomass) and root (dry/wet biomass and root density) were determined after 12 months. The moisture content and soil density of plots were determined and monitored monthly. *C. cajan*, *C. ochroleuca* and *C. juncea* obtained uniformity and early growth after 60 days. *C. juncea*, *C. ochroleuca* and *C. breffiflora* reached all phenological stages until the fifth month. *C. ochroleuca* and *C. juncea* presented higher shoot length (193.17 cm and 177.56 cm). The higher dry matter accumulated was obtained in *C. cajan*, 14.35 g.ind⁻¹, in shoots, and 38.18 g.dm⁻³, in roots. *C. cajan* and *C. breffiflora* obtained the highest values of plant density, 81 and 61 ind.m⁻². Concerning the establishment of the species, the best performance was obtained with *C. breffiflora*, which accumulated 30.70 g.dm⁻³ of root biomass in 1.2 g.cm⁻³ soil density, and *C. juncea*, with the second largest biomass production in shoots, 64 g.ind⁻¹, with just 11% soil moisture.

Keywords: landfill, final cover, environmental remediation, plant-soil relationship, degraded area.

¹ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte-MG, Brasil.

² Superintendência de Limpeza Urbana-SLU, Belo Horizonte-MG, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), Sete Lagoas - MG, Brasil.

⁴ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte-MG, Brasil.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte - MG, Brasil. Email: allanfmbh@gmail.com

Resumo

O estudo das particularidades de espécies vegetais em substrato degradado de aterro sanitário pode subsidiar o desenvolvimento de métodos que avaliem o sucesso da remediação ambiental da cobertura final, sobretudo em se tratando de avaliação do estabelecimento de plantas via sistema radicular. O trabalho avaliou o comportamento de *Cajanus cajan* (*C. cajan*), *Crotalaria breffiflora* (*C. breffiflora*), *Crotalaria juncea* (*C. juncea*) e *Crotalaria ochroleuca* (*C. ochroleuca*) em substrato degradado de aterro sanitário. O experimento foi desenvolvido no Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG, Brasil. Após 30 dias avaliou-se a densidade de plantas e após 12 meses o porte individual da parte aérea (comprimento e fitomassa seca/úmida) e da raiz (fitomassa seca/úmida e densidade radicular). A umidade e a densidade do solo foram monitoradas mensalmente. *C. cajan*, *C. ochroleuca* e *C. juncea* obtiveram uniformidade e crescimento inicial em 60 dias. *C. juncea*, *C. ochroleuca* e *C. breffiflora* atingiram todos os estágios fenológicos até o quinto mês. *C. ochroleuca* e *C. juncea* obtiveram maior comprimento de parte aérea (193.17cm e 177.56cm). A maior fitomassa seca acumulada foi obtida em *C. cajan*, 14.35g.ind⁻¹ na parte aérea e 38.18g.dm⁻³ na raiz. *C. cajan* e *C. breffiflora* obtiveram os maiores valores de densidade de plantas (81 e 61 ind.m⁻²). Em caráter adaptativo, o melhor desempenho foi obtido com a espécie *C. breffiflora* que acumulou 30.70g.dm⁻³ de fitomassa na raiz, com densidade do solo 1.2g.cm⁻³, e *C. juncea*, que obteve a segunda maior produção de fitomassa na parte aérea, 64 g.ind⁻¹ em somente 11% de umidade do solo.

Palavras chave: aterro sanitário, camada de cobertura final, remediação ambiental, relação solo-plantas, área degradada.

Introdução

As práticas de manejo e conservação, como o emprego de plantas de cobertura são relevantes para a manutenção ou melhoria das características químicas, físicas e biológicas de substratos degradados (Lehnhoff e Menalled, 2013), favorecendo a estabilização do ambiente e a sucessão vegetal ao longo do processo de restauração (Teodoro *et al.*, 2011). Independentemente da finalidade, as ações recuperadoras pressupõem medidas de proteção do solo, dentre as quais a formação de uma vegetação de cobertura tem sido imprescindível. Nesse aspecto, a grande dificuldade consiste no fato de que a degradação traz como consequência condições desfavoráveis ao crescimento de plantas. Idealmente, busca-se o uso de plantas com baixa demanda de insumos externos e espécies capazes de criar condições favoráveis aos mecanismos de regeneração natural da área (Pen-Mouratov *et al.*, 2014; Bert *et al.*, 2012).

As espécies vegetais leguminosas são reconhecidas como eficientes restauradoras da fertilidade dos solos, promovendo a produção de grande quantidade de massa verde e de grande exploração em área pelo sistema radicular. O uso da cobertura vegetal como medida mitigadora dos impactos ambientais nas camadas de cobertura final de aterros sanitários pode ser uma opção coerente, prática e econômica, embora possa apresentar dificuldades de adaptação em função das características físicas e químicas do substrato (Hauser, 2009; Saarela, 2003), de tal modo que, são poucos os relatos existentes sobre o crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais nestes substratos (Athyet *al.*, 2006; Robinson e Handel, 1995). Sendo assim, é importante e necessário conhecer espécies vegetais que possam ser inicialmente incluídas em determinado

sistema de uso em ambientes hostis, como os aterros sanitários (Shah *et al.*, 2017). Neste sentido, conhecer as características comportamentais de plantas em camadas de cobertura final de aterros sanitários pode subsidiar a sua remediação. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de substrato degradado no estabelecimento e adaptação de espécies vegetais leguminosas no intuito de agregar maiores informações sobre a remediação ambiental da cobertura final de aterros sanitários.

Metodologia

A área experimental foi desenvolvida no Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG, Brasil. De acordo com a classificação de Koëppen, o tipo climático é Cwb (mesotérmico úmido com estação chuvosa de verão brando). A temperatura média anual é em torno de 21.5°C, a temperatura máxima é de 32,3°C e a mínima de 10°C. Os dados anuais pluviométricos médios são de aproximadamente 1.600 mm (Dubreuil *et al.*, 2018).

A composição da camada de cobertura final do aterro consiste de solo e resíduos de construção e demolição, cujas características físico-químicas foram obtidas por Magalhães (2005) e são apresentadas na Tabela 1. Esse substrato também pode ser chamado de *topsoil* (Koerner e Daniel, 1997).

Tabela 1. Características físico-químicas do substrato degradado e solo original da camada de cobertura final do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG (Magalhães, 2005).

Característica**	Elemento químico	Unidade de medida	Substrato degradado	Solo original
Elementos minerais (n. 36)	MO	%	1.31	*
	H		0.6	0.7
	Al		*	0.2
	Ca	Eq. Mg . 100 cc ⁻¹	8.7	1.4
	Mg		0.6	0.4
	P		11.0	2.0
	K	%	>100.0	37.0
	Zn	mg . dm ⁻³	12.1	0.3
	Co		*	*
	Fe		106.6	11.9
	Cu	%	2.5	0.1
	Mn		61.1	0.9
	Na	Cmol.carga . dm ⁻³	0.22	0.01
Granulometria (n. 33)	Areia grossa		23.0	11.0
	Areia fina		27.0	42.0
	Silte	%	40.0	41.0
	Argila		10.0	6.0

*Quantidade não-detectável;n. -número total de amostras.

Na construção da camada de cobertura, os materiais foram dispostos em camadas sobrepostas (20-30cm), não sendo realizada a sua mistura. Posteriormente foi realizada a compactação do material para diminuir a porosidade e, conseqüentemente, reduzir a perda de material por erosão hídrica, a infiltração de água e o escape de gases, funções primordiais de uma camada de cobertura final de um aterro sanitário. Para avaliar o desempenho de plantas neste substrato foram selecionadas as seguintes espécies: *Crotalaria juncea* (*C. juncea*), *Crotalaria breffiflora* (*C. breffiflora*), *Crotalaria ochroleuca* (*C. ochroleuca*) e *Cajanus cajan* (*C. cajan*).

Foram implantadas, em cada talude, três parcelas de 70m² cada, totalizando 12 parcelas, em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). Posteriormente, sementes das quatro espécies vegetais foram inseridas, conforme recomendação de Pereira (2006). Foi utilizada biomanta no intuito de evitar a perda de propágulos e optou-se pela não correção química dos substratos para avaliar a integridade do efeito do ambiente sobre as plantas.

Para a avaliação inicial das espécies vegetais leguminosas foram lançadas aleatoriamente quatro repetições de área conhecida (0.25m²), totalizando 48 unidades amostrais para cada espécie vegetal. A determinação das repetições consistiu em caminhamento no interior das parcelas implantadas e posterior lançamento, sem nenhum critério de escolha, da posição do quadrante na superfície em questão. Nestas unidades amostrais foi avaliada a densidade de plantas, após 30 dias.

Para estimativas de uniformidade de crescimento das espécies vegetais foi avaliada tomando-se a metragem da parte área de todos os indivíduos nos limites do quadrante, sendo no mínimo quatro repetições para cada espécie. Após 12 meses avaliou-se o porte da parte área das espécies: comprimento (cm) da parte aérea, fitomassa seca e úmida da raiz e da parte aérea (g.ind⁻¹) e densidade radicular (g.dm⁻³ solo), sendo estes parâmetros determinado em cada indivíduo. A umidade e a densidade do solo foram determinadas e monitoradas mensalmente durante 12 meses, conforme Embrapa (1997). Os resultados de desempenho das espécies estudadas foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e para efeito de comparação aplicou-se o Teste F. Os dados utilizados foram considerados normais e, portanto, não houve necessidade de transformação.

Resultados e discussão

C. cajan e *C. breffiflora* obtiveram inicialmente os maiores valores de densidade de plantas por área (81 e 61 ind.m⁻²), comparado à *C. ochroleuca* (56 ind.m⁻²) e *C. juncea* (39 ind.m⁻²) (Tabela 2). Para solos compactados, um dos mecanismos eficaz de avaliar o desempenho de plantas para cobertura é a rapidez da germinação, comportamento notadamente observado em *C. breffiflora*, e a densidade radicular no solo (Calonego et al, 2011), este último o destaque confirmado para a espécie *C. cajan* (Jimenez et al. 2008).

Tabela 2. Desempenho de espécies vegetais em substrato degradado após 12 meses de monitoramento (CP-comprimento parte aérea e FS-fitomassa Seca).

Espécie	Caracteres morfológicos				
	Parte aérea	Parte raiz			Densidade**
	CP (cm)	FS (g.ind ⁻¹)	FS (g.ind ⁻¹)	FS (g.dm ⁻³ solo)	(ind.m ⁻²)
<i>C. cajan</i>	135.44(±29.41)b*	28.43(±14.18)b	14.35(±7.28)a	38.18 (±15.79)a	81.00(±27.00)a
<i>C. juncea</i>	177.56(±29.84)a	26.46(±13.16)b	7.28(±3.57)b	21.71(±7.10)b	39.00(±10.00)b
<i>C. ochroleuca</i>	193.17(±31.24)a	47.18(±16.16)a	6.21(±2.38)b	20.15(±6.73)b	56.00(±16.00)a
<i>C. breffiflora</i>	35.19(±8.79)c	3.81(±1.88)c	2.29(±0.89)c	5.74(±2.05)c	61.00(±18.00)a

*valor médio (±Sd); *Valores médios seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste F (p-value<0.05);

** Densidade de planta 30 dias pós-implantação.

As espécies vegetais analisadas *C. cajan*, *C. ochroleuca* e *C. juncea* apresentaram uniformidade de crescimento inicial (60 dias), e *C. breffiflora* apresentou desuniformidade de crescimento, com estabelecimento somente após 80 dias. Segundo Accioly (2001), estas características comportamentais são referentes ao estabelecimento de espécies vegetais estudadas em substratos degradados, e merecem destaque a rapidez de germinação, o hábito, a capacidade de crescimento e desenvolvimento da planta.

C. juncea, *C. ochroleuca* e *C. breffiflora* atingiram todos os estágios fenológicos até o quinto mês. Após cinco meses *C. cajan* apresentou crescimento regular, atingindo valor médio de 80 cm de comprimento na parte aérea. Somente *C. breffiflora* emitiu flores e frutos após seis meses. Garcia (2002) utilizando leguminosas subarbusculares em substratos degradados conseguiu, após cinco meses, completar este ciclo de vida, independente das condições do ambiente.

C. ochroleuca e *C. juncea* apresentaram os maiores valores no comprimento de parte aérea, com 193.17cm e 177.56cm, respectivamente. *C. cajan* obteve valores médios de 135.44cm e *C. breffiflora* foi a espécie que apresentou o menor crescimento de parte aérea, com 35.19cm (Tabela 2). *C.ochroleuca* acumulou o maior valor em fitomassa seca, 47.18g.ind⁻¹, comparado à *C. juncea* e *C. cajan*.

A produção de raízes de 0 a 15 cm de profundidade no substrato em campo está dentre os melhores métodos para avaliação da sua densidade, e o sucesso no estabelecimento das plantas está relacionado à quantidade de raiz emitida ao longo do tempo (Robinson e Hendel, 1995). O maior valor de fitomassa seca acumulada na raiz, após 12 meses, foi obtido em *C. cajan*, tanto na fitomassa acumulada individual (14.35g.ind⁻¹) como na densidade (38.18g.dm⁻³solo). *C. juncea* e *C. ochroleuca* obtiveram valores intermediários de fitomassa individual na raiz (7.28 e 3.57g.ind⁻¹) (Tabela 2). A produção de biomassa vegetal é uma característica reconhecida das leguminosas utilizadas como adubo verde, entretanto, existe uma grande variação nessa produção, conforme a adversidade das condições do ambiente (Corrêa e Bento, 2010).

Todas as espécies estudadas formaram uma camada de cobertura vegetal capaz de recobrir a superfície do talude (Figura 1a). Algumas espécies como *C. cajan* e *C. brefflora* apresentaram um sistema radicular superficial, ficando restrito aos primeiros 15cm de profundidade (Figura 1b). *C. juncea* apresentou ramificação superficial e espessa, o que foi o suficiente para se fixar ao substrato, mesmo com o desvio de crescimento da raiz pivotante (Figura 1c).



Figura 1. Aspecto geral de espécies vegetais leguminosas na cobertura final do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG: Cobertura vegetal de *C. cajan* na camada superficial do aterro sanitário (a); enraizamento de *C. ochroleuca* em camada superficial compacta (b) e sistema radicular de *C. juncea* com desvio de raiz pivotante (c).

Espécies vegetais como *C. cajan* tem capacidade de adaptar a ampla faixa de precipitação, ser resistente à seca e desenvolver melhor em temperatura mais elevada (Pereira, 2006; Rayol e Alvino-Rayol, 2012). Normalmente, a produção de matéria seca de *C. cajan* pode alcançar quatro vezes o valor da matéria seca apresentada pela espécie similar *Vigna unguiculata* em mesmo ambiente (Alvarenga *et al.*, 1995). Essa diferença pode estar associada às condições locais de favorecimento e ao ciclo da planta, onde espécies com ciclo mais longo têm a tendência a produzir maior quantidade de biomassa (Alvarenga *et al.*, 1995). *C. cajan* pode ainda exibir estratégia adaptativa de enraizamento a maiores profundidades e possibilitara ciclagem de nutrientes nessas camadas (Beltrame e Rodrigues, 2008).

A variação no crescimento de raízes das espécies estudadas pode ser atribuída às particularidades morfológicas de cada espécie, somado à restrição de crescimento imposto pelas propriedades físicas (Jimenez *et al.*, 2008) e químicas (Bert *et al.*, 2012) do substrato.

A densidade de substratos degradados de aterros sanitários é uma propriedade física eficaz em definir o sucesso de espécies vegetais, pois limita severamente o seu estabelecimento inicial (Calonego *et al.*, 2011). Neste sentido, as espécies vegetais estudadas apresentaram comportamento distinto no sistema radicular. *C. breiflora*, nos substratos de maior densidade (superiores à $1.25\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), produziu o menor volume de fitomassa das raízes ($14\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$), seguido de *C. ochroleuca*, em densidade de solo $1.21\text{-}1.29\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Figura 2a). Este efeito da densidade sobre o sistema radicular também foi observado com Jimenez *et al.* (2008) cultivando milho em substrato degradado. *C. cajan* acumulou a maior fitomassa nas raízes, $42\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, em densidade de solo $1.12\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. *C. juncea* apresentou uma baixa produção de raízes, pois, mesmo nas condições propícia de substrato ($1.15\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a espécie foi sensível à ramificação, cada indivíduo produziu $20\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ de fitomassa radicular.

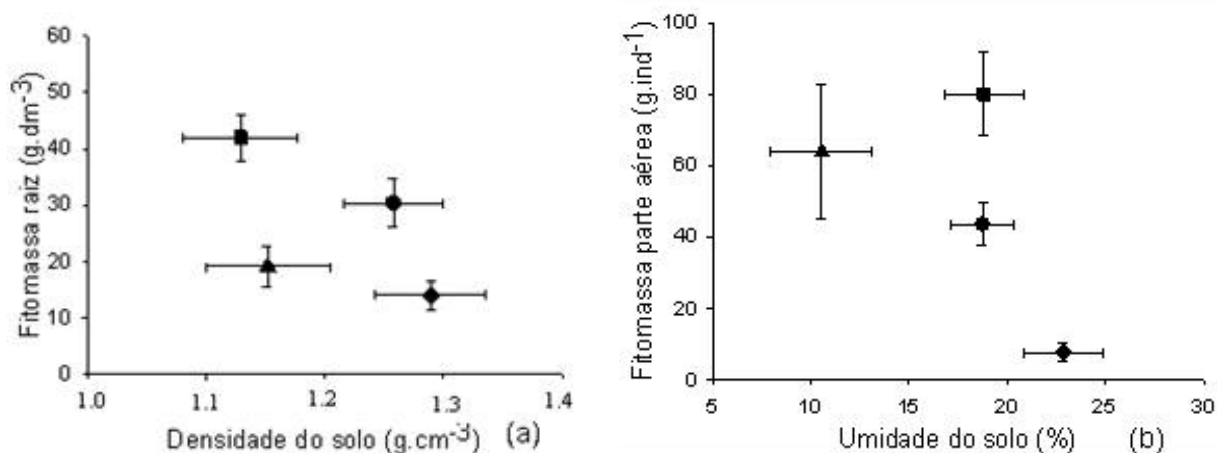


Figura 2. Comportamento de espécies vegetais em substrato degradado de aterro sanitário: fitomassa da raiz em função da densidade do solo (a) e fitomassa da parte aérea em função da umidade do solo (b).

(●) *C. ochroleuca*, (▲) *C. juncea*, (■) *C. cajan* e (◆) *C. breiflora*.

Segundo Zonta *et al.* (2006) a redução nas raízes não necessariamente pode ser considerada uma diminuição do crescimento radicular, e sim uma alteração na distribuição espacial das raízes, já que em condições de limitação do crescimento em profundidade, pode ocorrer intensa proliferação de eixos laterais finos, que possivelmente contribuem para o aumento significativo da superfície específica radicular. E segundo Blainski *et al.* (2008) substratos de camadas compactadas podem apresentar pouca quantidade de raízes no seu interior e baixa atividade

biológica. O resultado dessas alterações no solo é que as raízes sofrem modificações morfológicas e fisiológicas, por vezes específicas a cada espécie (Calonego *et al.*, 2011).

No caráter adaptativo às propriedades físicas do solo, a espécie *C. breiflora* apresentou menor sensibilidade no sistema radicular, ou seja, mesmo nos valores de densidade do substrato acima de 1.2 g.cm^{-3} a espécie acumulou 30.70 g.dm^{-3} de fitomassa nas raízes. Segundo Godefroy (1988) estudando comportamento de espécies vegetais de pequeno porte, observou que *Crotalaria retusa* e *Crotalaria anagyroides* obtiveram menor capacidade de enraizamento em substrato compactado (Figura 2a).

Em relação ao efeito da umidade inicial do solo sobre a parte aérea de plantas, *C. cajan* foi a espécie que acumulou maior fitomassa na parte aérea, 85 g.ind^{-1} , com 18% de umidade. Enquanto *C. breiflora*, mesmo nos maiores teores de umidade do solo (superiores à 20%), a produção de fitomassa foi inferior à 20 g.ind^{-1} (Figura 2b).

Nos solos de menor umidade (11%), a espécie *C. juncea* obteve a segunda maior produção de fitomassa na parte aérea, aproximadamente 64 g.ind^{-1} . A capacidade de plantas crescerem em superfícies de substratos degradados tem sido confirmada por alguns pesquisadores (Chen e Weil, 2010; Alvarenga, 1993; Robinson *et al.*, 1992), os quais afirmam que o estabelecimento de algumas espécies vegetais podem recompor estruturas físicas das camadas mais profundas, ou seja, acima de 20 cm de profundidade (Bonini e Alves, 2011), notadamente condições que favoreçam a sucessão vegetal (Bonini e Alves, 2011).

Conclusão

C. cajan e *C. juncea* são espécies vegetais leguminosas capazes de se estabelecer em substratos degradados de aterros sanitários, sendo maiores destaques em uniformidade de crescimento e estabelecimento inicial. Além disso, o maior ganho em biomassa para a fixação radicular nas primeiras camadas compactas foi obtido pela espécie *C. cajan*. *C. ochroleuca* apresentou maior acúmulo de fitomassa na parte aérea, por consequência foi a espécie vegetal de maior ganho em recobrimento superficial, portanto sobrepondo aspectos adaptativos nas camadas mais compactas, enquanto a espécie *C. juncea* se sobrepôs às demais nas camadas mais secas do aterro sanitário.

A avaliação do comportamento de plantas em substratos degradados de aterros sanitários sugere que o estudo da particularidade de espécies vegetais pode subsidiar o desenvolvimento de métodos mais avançados que avalie o sucesso da remediação ambiental da cobertura final, sobretudo em se tratando de viabilizar o estabelecimento de plantas via sistema radicular.

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos à DEFLOR Bioengenharia pelo suporte financeiro, à Superintendência Municipal de Limpeza Urbana de Belo Horizonte pelo apoio estrutural na condução dos experimentos, à CAPES - Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, à FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo contínuo apoio financeiro.

Referências bibliográficas

- Accioly, A. M. A. (2001) *Amenizantes e estratégias para o estabelecimento de vegetação em solos de áreas contaminadas por metais pesados*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo, Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, 186 pp.
- Alvarenga, R. C., Costa, L. M., Moura Filho, W., Regazzi, A. J. (1995) Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **30**(2), 175-185.
- Athy, E. R., Keiffer, C. H., Stevens, M. H. (2006) Effects of Mulch on Seedlings and Soil on a Closed Landfill. *Restoration Ecology*, **14**(2), 233-241.
- Beltrame, T. P., Rodrigues, E. (2008) Comparação de diferentes densidades de feijão guandu (Cajanus cajan (L.) Millsp.) na restauração florestal de uma área de reserva legal no Pontal do Paranapanema, SP. *Scientia Florestalis*, **36**(80), 317-327.
- Bert, V., Lors, C., Ponge, J., Caron, L., Biaz, A., Dazy, M., Msfaroud, J. (2012) Metal immobilization and soil amendment efficiency at a contaminated sediment landfill site: A field study focusing on plants, springtails, and bacteria. *Environmental Pollution*, **169**, 1-11.
- Blainski, E., Tormena, C. A., Fidalski, J., Guimarães, R. M. L. (2008) Quantificação da degradação física do solo por meio da curvatura de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **32**, 975-983.
- Bonini, C. S. B., Alves, M. C. (2011) Estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **35**, 1263-1270.
- Calonego, J. C., Gomes, T. C., Santos, C. H., Tiritan, C. S. (2011) Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. *Bioscience Journal* **27** (2), 289-296.
- Chen, G., Weil, R. R. (2010) Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant Soil*, **331**, 31-43.
- Corrêa, R. S., Bento, M. A. B. (2010) Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **34**, 1435-1443.
- Dubreuil, V., Fante, K. P., Planchon, O., Sant'anna Neto, J. L. (2018) Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins [on line]*, **37**. doi: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2 ed, 212 pp.
- Garcia, L. F. (2002) Introdução e avaliação de leguminosas para adubação verde em solos arenosos de tabuleiros costeiros do Piauí. *Revista Faculdade de Agronomia*, **28**, 93-103.
- Godefroy, J. (1988) Observations de l'enracinement du stylosanthes, de la crotalaire et Du flemingia dan sun sol volcanique du Cameroun. *Fruits*, **43**, 79-86.
- Hauser, V. L. (2009) *Evapotranspiration covers for landfills and waste sites*. New York, 203 pp.
- Jimenez, R. L., Gonçalves, W. G., Araújo-Filho, J. V., Assis, R. L., Pires, F. R., Silva, G. P. (2008) Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **12**(2), 116-121.
- Koerner, R. M., Daniel, D. E. (1997) *Final covers for solid waste landfill sand abandoned dumps*. 1. ed. Virginia: Asce press. 256 pp.
- Lenhoff, E. A., Menalled, F. D. (2013) Impacts of Tamarix-mediated soil changes on restoration plant growth. *Applied Vegetation Science*, **16**, 438-447.

- Magalhaes, A. F. (2005) *Avaliação do desempenho de técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso para o aterro sanitário de Belo Horizonte, MG*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 169 pp.
- Pen-Mouratov, S., Shukurov, N., Yu, J., Rakhmonkulova., S., Kodirov, O., Barness, G., Kersten, M., Steinberger, Y. (2014) Successive development of soil ecosystems at abandoned coal-ashlandfills. *Ecotoxicology*, **23**(5), 880-897.
- Pereira, A. R. (2006) *Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão*. Belo Horizonte, MG, Ed. Fapi, 88 pp.
- Rayol, B. P., Alvino-Rayol, F. O. (2012) Uso de feijão guandú (*Cajanuscajan* (L.) Millsp.) para adubação verde e manejo agroecológico de plantas espontâneas em reflorestamento no estado do Pará. *Revista Brasileira de Agroecologia*, **7** (2), 104-110.
- Robinson, G. R., Handel, S.N. (1995) Woody plant roots fail to penetrate a clay-lined landfill: Management implications. *Environmental management*, **19** (1), 57-64.
- Robinson, G. R., Handel, S.N., Schmalhofer, V.R. (1992) Survival, reproduction, and recruitment of woody plants after 14 years on a reforested landfill. *Environmental management*, **16** (2), 265-271.
- Rodrigues, F. C. M. P. (1988) Manual de análise de sementes florestais. 1. ed. Campinas: Fundação Cargill, 100 pp.
- Saarela, J. (2003) Pilot investigations of surface parts of three closed landfills and factors affecting them. *Environmental Monitoring and Assessment*, **84**, 183-192.
- Shah, B. D., Mehta, M. J., Khapre, A. (2017) Phyto cover for sanitary landfill sites: a brief review. *Journal of Engineering Research and Application*, **7**(3), 65-70.
- Teodoro, R. B., Oliveira, F. L., Silva, D. M. N., Fávero, C., Lima, M.A.Q. (2002) Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira Ciências do Solo*, **35**, 635-643.
- Zonta, E., Brasil, F., Goi, S. R., Rosa, M. M. T. (2006) *O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico*. In: Fernandes, M. S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 7-52.