

## Artigo técnico

Seleção de espécies vegetais para  
pelotização de sementes com  
aplicabilidade na recuperação de  
áreas degradadas pela mineração

*Selection of plant species for seed pelletizing with applicability in  
the recovery of areas degraded by mining*

Maria Lucia Solera<sup>a\*</sup>, Mariana Hortelani Carnesecca Longo<sup>a</sup>, Daphne  
Delduca Tonon<sup>b</sup>, Caroline Almeida Souza<sup>a</sup>

## Resumo

A recuperação de áreas degradadas resultantes de atividades minerárias, pode ser considerada uma etapa complexa devido à variedade de cenários de degradação observados, muitos deles desafiadores. Os custos dos métodos convencionais de recuperação, fundamentados no plantio de mudas, são elevados por dependerem, dentre outros, do estabelecimento de viveiro próprio, envolvendo custos relacionados à sua instalação e manutenção, à própria produção de mudas e ao plantio, que incluem custos de construção do viveiro, aquisição de insumos, mão de obra para plantio e manutenção, bem como custos do frete para transporte das mudas. Entendendo que os custos da recuperação são elevados, podendo os mesmos ser evitados utilizando soluções sustentáveis e, diante da grande quantidade de espécies utilizadas para recuperação de áreas degradadas, este artigo apresenta o processo de seleção de espécies vegetais com potencial para pelotização de sementes, buscando a germinação direta na área degradada a ser recuperada. Para tal, considerou-se a semeadura manual e/ou mecanizada, visando à aplicação das pelotas em taludes de corte e/ou áreas de reflorestamento, de modo a racionalizar o processo da recuperação e favorecer sua efetividade, com impacto positivo nos custos envolvidos. O processo de seleção identificou seis espécies vegetais, com diferentes características, consideradas potenciais para pelotização: duas arbóreas – *Cassia ferruginea* e *Schinus terebinthifolia*; dois subarbustos – *Lepidaploa aurea* e *Stylosanthes*

<sup>a</sup> Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente – Seção de Planejamento Territorial, Recursos Hídricos, Saneamento e Florestas, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil

<sup>b</sup> Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil.

E-mail: lucinha@ipt.br

Palavras-chave: recuperação de áreas degradadas; pelotização de sementes; seleção de espécies vegetais

*Keywords: recovery of degraded areas; seed pelletizing; selection of plant species*

sp.; uma herbácea – *Echinolaena inflexa* e uma arbustiva *Crotalaria spectabilis*. A seleção destas espécies permitiu combinações entre as espécies no processo de pelotização, garantindo a diversidade estrutural e funcional no caso de múltiplas sementes por pelota.

## Abstract

*The recovery of degraded areas caused by mining activities can be considered a complex step due to the variety of challenging degradation scenarios observed. The costs of conventional methods of recovery, based on planting seedlings, are usually high because they are dependent, for example, on the establishment of a seedling nursery, which involves costs related to: its installation and maintenance; the production of seedlings; and planting. These processes include costs of: construction of the nursery; acquisition of inputs; labor for planting and maintenance; and transportation costs. Having in mind that these high costs of recovery can be avoided by the use of sustainable solutions and, given the large number of species that can be used to recover degraded areas, this article presents the process of selecting plant species with potential for seed pelletizing, to be used in direct germination in the degraded area. Manual and/or mechanized sowing was considered to apply the pellets on cut slopes and/or areas destined for forest recovery, in order to rationalize the recovery process and favor its effectiveness, with a positive impact on costs. The selection process identified six plant species considered potential for pelletizing: two arboreal species – *Cassia ferruginea* and *Schinus terebinthifolia*; two sub-shrubs – *Lepidaploa aurea* and *Stylosanthes* sp.; one herbaceous plant – *Echinolaena inflexa*; and one shrub – *Crotalaria spectabilis*. The selection of these species allowed combining different species in the pelletizing process, ensuring structural and functional diversity in the case of multiple seeds per pellet.*

## 1 Introdução

Na condução da recuperação de um ambiente, resultante da atividade minerária, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) deve ter seus objetivos muito bem definidos, cujo objetivo principal está na promoção da recuperação ambiental da área degradada, com suas variáveis ajustadas, destacando: necessidades legais; desejo do proprietário do terreno; e aspectos sociais e econômicos (ALMEIDA, 2016). Ressalta-se ainda, a necessidade de integrar ao planejamento inicial da mineração, metodologias de recuperação de áreas degradadas, desde o início das atividades e, assim, evitar os impactos na biodiversidade, recursos hídricos e redução dos custos do garimpo após extração (SILVA et al.; 2018), ou seja, evitar os impactos aos recursos naturais e a redução dos custos finais com a implantação do PRAD.

A recuperação consiste da aplicação de técnicas de manejo em um ambiente degradado com vista a obter um novo uso produtivo e sustentável (Sánchez, 2008). Na restauração, segundo Engel e Parrota (2003), o objetivo é recriar comunidades viáveis, de forma a proteger e estimular a capacidade natural de mudanças dos ecossistemas. Assim, o termo recuperação refere-se à reparação da área em questão, relacionado a trabalhos realizados em locais com degradação severa, como as atividades da extração de minérios e obras de construção civil (ENGEL; PARROTA, 2003), uma vez que, nesses locais, a restauração se torna difícil devido ao alto grau de impactos negativos causados na área.

A recuperação de ecossistemas degradados é uma prática que remonta a tempos pretéritos e, exemplos de sua existência podem ser encontrados na história, em diferentes épocas e regiões (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004). Desde o século XIX, no Brasil, as plantações florestais se estabeleceram com diferentes objetivos, principalmente para a proteção de recursos hídricos (ENGEL; PARROTA, 2003). A ausência de conhecimentos sobre os ecossistemas e sobre os recursos necessários para recuperar uma área degradada, bem como a inexistência de produção de mudas nativas, conduziu a realização de plantios aleatórios, com baixa diversidade de espécies, utilizando até mesmo espécies exóticas (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009; ALMEIDA, 2016).

A partir de 1970, as necessidades de se reparar danos ambientais, decorrentes da atividade minerária e margens de corpos d'água de usinas hidrelétricas, impulsionaram novos plantios de restauração no Brasil (DURIGAN; ENGEL, 2012). A busca pela recuperação de áreas era baseada no plantio de mudas, uma vez que era possível prever o desenvolvimento das espécies e o número exato de indivíduos plantados nas áreas a serem recuperadas (RODRIGUES et al., 2007). Com a demanda de novos plantios, a partir de 1980, as universidades e seus pesquisadores focaram na recuperação da mata ciliar e de áreas mineradas. Estas últimas objetivavam, exclusivamente, a remediação dos danos causado ao solo exposto (DURIGAN; ENGEL, 2012).

Em 1990, as pesquisas no Brasil avançaram considerando outros biomas, além da Mata Atlântica, para a recuperação. Também foram consideradas outras técnicas de restauração, além do reflorestamento, não somente com objetivo de proteção a biodiversidade, mas também da área como um todo (DURIGAN; ENGEL, 2012). Com o aumento do conhecimento, surgiram novos estudos, propostas e modelos de recuperação utilizando espécies nativas e diferentes metodologias de plantio (ALMEIDA, 2016). Mesmo que, apoiada sobre uma base teórica frágil, parte dos avanços obtidos nessa fase continuam incorporados na metodologia de restauração (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009).

## 1.1 Recuperação de áreas degradadas pela mineração

Em áreas muito perturbadas, o recobrimento do solo é lento, principalmente em locais com pouco ou nenhum fragmento florestal próximo, onde a intervenção se mostra essencial, garantindo o estabelecimento da vegetação (MINELLA; BÜNDCHEN, 2013). Assim, diferentes modelos de RAD,

tais como: rebrota de tronco ou raízes; regeneração natural, a partir de plantas jovens já existentes na área e de sementes no solo; dispersão de sementes; semeadura direta; e plantio de mudas (RODRIGUES, et al.; 2009), por apresentarem formas de distribuição dos diferentes grupos ecológicos no local, onde se pretende fazer a revegetação, podem ser utilizados nos programas de RAD (MACEDO, et al, 1993). A revegetação de áreas degradadas requer a utilização de espécies vegetais capazes de se desenvolverem sob condições nem sempre ideais, no que se refere, principalmente, às condições adversas físicas e químicas do solo, e que também colaborem para a melhoria da qualidade do solo, possibilitando o desenvolvimento de espécies vegetais menos resistentes ao cenários/ contexto de degradação.

Em relação a modelos de RAD, não baseados em plantio de mudas, Solera et al. (2014) citam dois já utilizados pelo setor minerário. O primeiro deles, a hidrossemeadura conjugada com biomanta, comumente adotado pelo setor, envolve custos relacionados à instalação de biomanta e aplicação mecanizada de mistura de sementes, que incluem custos de insumos (ex.: sementes, fertilizantes e mulch), de mão de obra (ex.: para instalação de biomanta) e de equipamento para a hidrossemeadura. Os autores ainda ressaltam que, apesar de esse método apresentar elevada aplicabilidade para a RAD de bancadas e taludes de cava de mineração, com o recobrimento vegetal e controle da erosão, propicia baixo valor agregado em termos ecológicos, por não privilegiar a restauração das funções ecológicas do sistema. O segundo método citado por Solera et al. (2014) é a transposição da camada superficial do solo, contendo o horizonte A e parte do horizonte B (topsoil), que envolve custos de sua retirada e armazenamento e, posteriormente, de transporte e de recolocação na área a recuperar.

É importante ressaltar que a utilização do topsoil em áreas de mineração, deve ser priorizada, cujas vantagens do seu uso estão no fornecimento de sementes e outros propágulos, presença de microrganismos benéficos, redução no uso de fertilizantes e rápida cobertura do solo (GRANT, et al. 2016).

A pelotização é um processo de aglomeração que visa à união de materiais particulados, sólidos e de menor granulometria, por meio da formação de forças físicas de curto alcance entre os próprios sólidos ou da presença de ligantes, para a formação de aglomerados de tamanhos maiores (PIETSCH, 2005). Para este artigo o termo pelotização foi utilizado para designar estruturas mais arredondadas (pelotas), enquanto que alguns autores utilizam o termo peletização, para as estruturas mais alongadas (pellets). A pelotização de sementes consiste na aplicação de materiais secos, rígidos, uniformes e inertes sobre a superfície das sementes, com vistas a conferir melhores propriedades, sem alterações negativas na germinação e no desenvolvimento das plantas (SILVA; NAKAGAWA, 1998; SIKHAO et al. 2015). A técnica, utilizada para aglomeração ou recobrimento de sementes, possui como objetivo principal modificar as características físicas das sementes, de forma a adequar sua forma, tamanho e/ou textura com o intuito de facilitar sua semeadura, seu manuseio, transporte e armazenamento (BAYS et al. 2007). A proposição de um modelo de RAD, utilizando sementes pelotizadas com germinação direta na área degradada possibilita reduzir etapas, como a produção, transporte e aplicabilidade do método, com impacto positivo nos custos da RAD. Dessa forma, a pelotização de sementes se constitui um método promissor

na recuperação de áreas degradadas. Entretanto, a escolha de espécies vegetais com maior potencial para a pelletização de sementes é etapa fundamental e não totalmente explorada na literatura científica, especialmente para a RAD de áreas mineradas.

Alguns estudos apontam o uso sementes de espécies vegetais para RAD, que foram testadas para pelletização. Almeida (2004) utilizou sementes pelletizadas de três grupos ecológicos (*Cedrella fissilis*, *Copaifera langsdorffii*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Guazuma ulmifolia*, *Lithraea molleoides*, *Piptadenia gonoacantha*, *Senna macranthera*, *Senna multijuga*, *Sesbania virgata*, *Solanum granuloso-leprosum*, *Tabebuia serratifolia* e *Trema micrantha*), para verificar a emergência de plântulas para implantação de Matas Ciliares por plantio direto testadas em casa de vegetação (testemunho e pelletizadas); laboratório (testemunho e pelletizadas) e campo (testemunho). Os resultados mostraram que as espécies estudadas são passíveis de passar por processo de pelletização e que a semeadura mecanizada com sementes pelletizadas é viável e promissora para RAD. Pozitano (2011) realizou estudos utilizando *Senna macranthera* para analisar estatisticamente as porcentagens de germinação para sementes: in natura, sementes recobertas; sementes escarificada e recobertas; sementes escarificadas e in natura. Os resultados mostraram que o processo de recobrimento preserva o poder germinativo no armazenamento e as características químicas e físicas de cada espécie influencia na germinação. SILVA et al. (2006) estudou o efeito da temperatura na germinação de sementes osmocondicionadas e pelletizadas de macela – (*Egletes viscosa* (L.) Less), cujos resultados mostraram a velocidade de germinação com e sem osmocondicionamento semelhantes em 25° e inferiores na temperatura alternada de 20° a 30°C e que nas sementes osmocondicionadas em temperatura alternada, o Índice de Velocidade de Germinação (IGV) é superior as sementes sem osmocondicionamento.

Nesse contexto, este artigo apresenta uma parte dos resultados obtidos no Projeto "Processo de pelletização de sementes para fins de recuperação de áreas degradadas (RAD) – Fase 1" que considerou a busca por espécies vegetais com maior potencial de pelletização para aplicação em áreas degradadas pela atividade minerária, visando sua recuperação (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021).

A próxima fase do projeto, que corresponde a Fase 2, deverá avaliar o desempenho das pelotas a partir de testes em casa de vegetação, utilizando as sementes selecionadas, e em experimentos de campo, que deverá abranger o planejamento, a condução e a análise dos resultados do experimento, envolvendo a descrição da tecnologia, com as especificações técnicas das pelotas de sementes, método de semeadura, tipo de área degradada para sua aplicação e uso e demais características da tecnologia, cujo processo de pelletização ao qual se refere a Fase 2, deverá ser realizado no âmbito da continuidade da pesquisa.

## 2 Procedimento metodológico

Frente à grande quantidade de espécies utilizadas para RAD, procurou-se buscar e organizar as informações necessárias para identificar as espécies potenciais para pelotização, tais como: (a) identificação botânica; (b) ocorrência – bioma e fitofisionomia; (c) endemismo; (d) resistência à toxidez; (e) tamanho da semente/fruto; (f) forma da semente; (g) forma de vida-estrato – arbóreo, arbustivo e herbáceo; (h) síndrome de dispersão; (i) classe sucessional; (j) grupo ecológico; (k) beneficiamento do fruto e sementes; (l) dormência da sementes, quando disponíveis, uma vez que, algumas dessas informações se apresentam escassas ou contraditórias.

Assim, com vistas a averiguar a possibilidade da formação de um aglomerado de múltiplas sementes na composição das pelotas, entre as espécies pré-selecionadas, foram consideradas as espécies vegetais com sementes de tamanhos de até 3 mm, independentemente da sua forma. Assim, considerando a grande heterogeneidade do formato das sementes das espécies listadas, optou-se por adotar uma classificação simplificada: sementes esféricas, alongadas, triangulares e achatadas.

As espécies pré-selecionadas como potenciais para serem pelotizadas foram organizadas em forma de lista, elaborada a partir de revisões taxonômicas, teses e artigos, referentes, preferencialmente, à fitofisionomia de campos rupestres, por ser a formação vegetal que se associa aos afloramentos rochosos ferruginosos, sujeitos a degradação e a demandar recuperação, o que torna este ambiente de interesse para a atividade minerária parceira do projeto. Os levantamentos de dados secundários foram obtidos, principalmente, por meio de plataformas acadêmicas online, como Web of Science, Scielo e Google Scholar. As espécies foram classificadas a partir das características consideradas chave para o processo de pelotização voltada à RAD por mineração, a saber: forma das sementes; forma de vida-estrato; resistência à toxidez; bioma; endemismo; síndrome de dispersão; e tamanho das sementes.

Uma vez elaborada a lista de espécies pré-selecionadas como potenciais para o processo de pelotização, aplicou-se uma sequência de filtros, apresentados no **Quadro 1**, com vistas a auxiliar na tomada de decisão da escolha de, no máximo, seis espécies diferentes entre arbóreas, arbustivas e herbáceas, para uso no processo de pelotização, a partir de critérios de agrupamento das espécies pré-estabelecidos, conforme mostra o **Quadro 2**.

**Quadro 1 – Sequência de filtros e critérios aplicados na lista de espécies vegetais pré-selecionadas como potenciais para o processo de pelotização**

Filtro	Critérios pré-estabelecidos
Filtro 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exclusão de espécies</li> <li>- ausência de informações sobre a forma da semente</li> <li>- tamanho da semente maior que 3 mm</li> </ul>
Filtro 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerando o resultado do primeiro filtro, para selecionar espécies que apresentavam ampla distribuição</li> <li>- ocorrência em mais de um bioma</li> <li>- ou em três fitofisionomias distintas</li> </ul>
Filtro 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exclusão de espécies consideradas trabalhosas nas etapas de beneficiamento das sementes:</li> <li>- espécies com sementes que precisam ser peneiradas (tamanhos heterogêneos)</li> <li>- espécies que apresentam sementes aderidas ao fruto, como: aquênios, cípselas, cápsulas, baga, espigueta, drupa e nuculânios</li> </ul>

Fonte: elaborado pelos autores.

**Quadro 2 – Critérios pré-estabelecidos para tomada de decisão da escolha de espécies para pelotização**

Descrição dos critérios de agrupamentos das espécies
Critério 1 – Resistência à toxidez de elementos
Critério 2 – Diversificação de formas de vida – diversidade estrutural do ambiente
Critério 3 – Tamanho e formas das sementes
Critério 4 – Informações ecológicas: maior taxa de cobertura de solo – rápido crescimento; melhoria do solo – adubos verdes

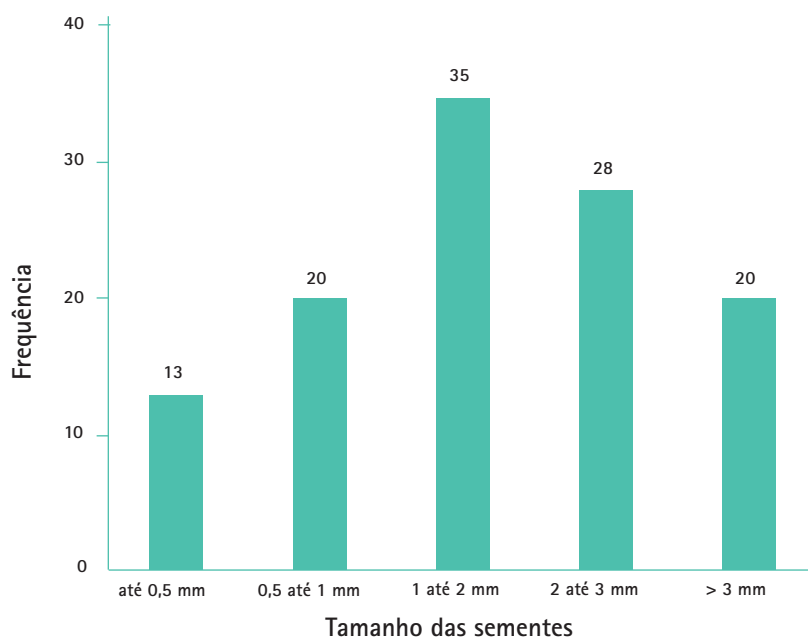
Fonte: elaborado pelos autores.

Por fim, foram feitos exercícios de agrupamentos das espécies resultantes dos filtros, conforme os critérios pré-estabelecidos (**Quadro 2**) e a disponibilidade de sementes no mercado, gerando os critérios finais para a seleção de espécies vegetais, muito importantes para os ensaios de pelotização, de forma a definir as espécies a serem efetivamente consideradas para uso no processo de pelotização do projeto de pesquisa.

### 3 Resultados e Discussão

A revisão de literatura gerou uma lista de 116 espécies potenciais para o processo de pelotização. Para o processo de dispersão ou transporte de sementes e frutos, relacionados às espécies elencadas, dentre os principais grupos de síndromes foram identificadas três formas de dispersão: (a) zoocoria – 50 espécies; (b) autocoria – 33 espécies; e (c) anemocoria – 18 espécies, sendo 15 delas estão sem informações quanto à dispersão. Das 116 espécies, 47 possuem informação de não resistentes à toxidez de elementos e 69 espécies possuem resistência à toxidez de alguns elementos. As sementes das espécies identificadas também possuem tamanhos variados conforme mostra a **Figura 1**, sendo que a maioria está dentro do valor estabelecido para desenvolver as pelotas, ou seja, até 3 mm.

**Figura 1 –** Frequência do tamanho das sementes das espécies identificadas.



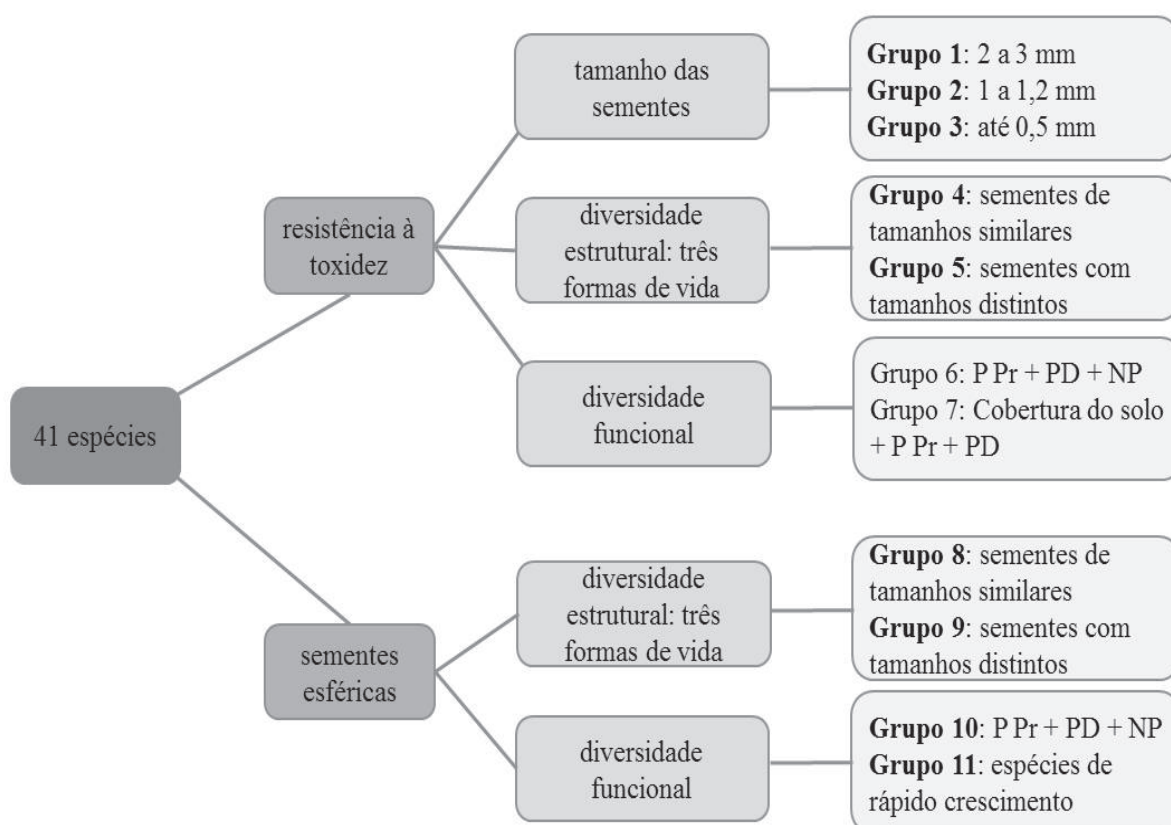
Fonte: elaborado pelos autores.

A aplicação dos filtros resultou em 41 espécies potenciais para pelotização (**Figura 2**), representadas, na sua maioria, pelas famílias Melastomataceae e Campanulaceae. A **Figura 3** mostra as principais informações sobre as 41 espécies potenciais, após aplicação de filtros.



O agrupamento de espécies vegetais, conforme os critérios pré-estabelecidos para auxiliar na tomada de decisão da escolha de espécies para o processo de pelotização, gerou grupos conforme a combinação dos critérios. Nesse sentido, 11 grupos de espécies foram formados a partir de critérios anatômicos e ecológicos, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Agrupamento de espécies segundo critérios anatômicos e ecológicos: (P) pioneira; (NP) não pioneira; (Pr) = preenchimento; (D) = diversidade.



Fonte: elaborado pelos autores.

Dentro do agrupamento de espécies resistentes à toxidez de elementos, o Grupo 1 refere-se às sementes maiores, o Grupo 2 às sementes de tamanho intermediário e o Grupo 3 às sementes menores. O Grupo 4 refere-se às espécies que ocupam estratos diferentes, pelo menos uma espécie por forma de vida, com tamanho de semente semelhante e o Grupo 5 refere-se às espécies que ocupam estratos diferentes, com ao menos uma espécie por forma de vida, porém, com tamanho de semente diferentes. O Grupo 6 refere-se ao conjunto de espécies arbóreas que apresentam diferentes funções ecológicas, procurando representar maior diversidade de grupos ecológicos e sucessionais, com espécies pioneiras do grupo de preenchimento, espécies pioneiras

do grupo de diversidade e espécies não pioneiras – secundárias iniciais e tardias. Finalmente, o Grupo 7 contempla às espécies iniciais do processo sucessional, como as herbáceas e arbustivas que apresentam características de recobrimento do solo e as arbóreas pioneiras, tanto do grupo de preenchimento como do grupo de diversidade.

No agrupamento pelo critério principal da espécie possuir semente esférica, o Grupo 8 refere-se às espécies que ocupam estratos diferentes, ao menos uma espécie por forma de vida, com tamanho de semente semelhante e o Grupo 9 refere-se às espécies que ocupam estratos diferentes com pelo menos uma espécie por forma de vida, porém com tamanho de semente diferentes. O Grupo 10 refere-se ao conjunto de espécies arbóreas que apresentam diferentes funções ecológicas, procurando representar maior diversidade de grupos ecológicos e sucessionais, com espécies pioneiras do grupo de preenchimento, espécies pioneiras do grupo de diversidade e espécies não pioneiras – secundárias iniciais e tardias, e o Grupo 11 contempla às espécies iniciais do processo sucessional que apresentam características de recobrimento do solo, como as herbáceas, arbustivas e arbóreas pioneiras do grupo de preenchimento.

A revegetação de áreas degradadas exige a utilização de espécies vegetais capazes de se desenvolverem em condições nem sempre ideais, no que se refere, sobretudo, às condições físicas e químicas do solo, e que sua introdução no ambiente igualmente contribua para a melhoria da qualidade do solo, possibilitando o desenvolvimento de outras espécies vegetais menos resistentes a condições de degradação.

Na escolha de espécies vegetais, foram consideradas aquelas com maior possibilidade de se desenvolverem em ambientes degradados, com base em características específicas, tais como: ocorrência em diferentes biomas e em diferentes fitofisionomias, classes sucessionais e grupos funcionais (BARBOSA et al., 2017), resistência a toxidez de metais pesados encontrados no solo, tais como o ferro e o alumínio (ZAPPI et al., 2018), ocorrência em diferentes tipos de solo (POTT; POTT, 2002), potencial em atuação como adubação verde (WUTKE, et al. 2007), síndromes de dispersão de sementes (PERES, 2016).

Além dessas características, para seleção das espécies que foram adquiridas para os ensaios de pelotização, da lista filtrada com 41 espécies potenciais, considerou-se também a análise de alguns outros aspectos relevantes, conforme mostra o **Quadro 3**, resultando em 16 espécies potenciais para o desenvolvimento das pelotas.

Quadro 3 – Aspectos analisados para seleção das espécies.

Critérios de Seleção	Observações
Diversidade de formas de vida	Inclusão de espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas entre as espécies adquiridas, para otimizar a cobertura do solo em diversos contextos de degradação e diversificar a condição estrutural da área permitindo a criação de diferentes habitats
Tamanho e formas das sementes	Aspecto analisado para verificar as melhores combinações entre as espécies a adquirir para obter combinação com sementes de classes semelhantes de tamanho e forma, para otimizar a formação das pelotas
Informações ecológicas	Dar preferência a uma combinação de espécies que proporcionassem maior taxa de cobertura de solo, rápido crescimento e melhoria do solo, e incluir espécies de adubos verdes na combinação de espécies a adquirir;
Preferências por espécies metalólicas – resistência a toxidez de elementos	Importante para contextos de ambientes degradados com toxicidade de metais, não sendo um critério de exclusão caso alguma espécie não apresentasse essa característica
Espécies já pelletizadas experimentalmente	Inclusão de espécies já testadas em experimentos de pelletização para aumentar as chances de ter-se um bom resultado de desempenho. Ressalta-se que dentre as espécies pré-selecionadas, poucos estudos foram encontrados relatando experiências de pelletização
Espécies comerciais	Realizou-se levantamento sobre a facilidade de aquisição das espécies potenciais, visto que era um fator limitante para a realização dos ensaios

Fonte: elaborado pelos autores.

A partir dos critérios de seleção apresentados no **Quadro 3**, foram elencadas 16 espécies potenciais para o desenvolvimento das pelotas, cuja identificação e respectivas informações relacionadas aos critérios selecionados estão apresentadas no **Quadro 4**. Considerou-se que para a aquisição das sementes seria necessário reduzir a quantidade de espécies e, com a definição da lista das 16 espécies, foi possível realizar combinações, avaliando principalmente o critério de diversidade estrutural, que define a necessidade de combinar as três formas de vida forma de vida-estrato – herbácea, arbustiva e arbórea. Isto feito foi possível combinar uma espécie para cada estrato nas diferentes classes de tamanho e forma das sementes, bem como na combinação das espécies arbóreas de acordo com a classificação quanto ao estágio sucessional, ao grupo ecológico e ao potencial de atuar como adubação verde.

**Quadro 4 – Espécies selecionadas para subsidiar a aquisição de sementes para pelotização.**

Espécie	Características	Espécie	Características
<i>Axonopus aureus</i>	Herbácea; Potencial forrageiro; Acumuladora de biomassa; Pioneira; Preenchimento; Cariopse esférica de 1,1 mm; e Possui comercialização	<i>Chamaecrista desvauxii</i>	Arbustiva; Pioneira; Perene; Semente esférica com 5,2 mm; Fixadora de Nitrogênio; e Possui comercialização
<i>Echinolaena inflexa</i>	Herbácea; Alta produção de biomassa; Forrageira Pioneira; Preenchimento; Metalófita; Sementes de 2 mm; e Possui comercialização	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Arbórea; Pioneira; Preenchimento; Sementes esféricas de 5 mm; Fácil comercialização; e Já pelotizada
<i>Paspalum densum</i>	Herbácea; Perene; Metalófita; Não Pioneira; Diversidade; Cariopse esférica de 1,4 mm; e Uso em pastagem	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Arbórea; Pioneira; Preenchimento; Sementes esféricas de 3 mm; Agressiva; e Fácil comercialização
<i>Evolvulus glomeratus</i>	Herbácea; Forrageira; Semente com 1,7 mm; Ampla distribuição; e Fácil comercialização	<i>Mimosa bimucronata</i>	Arbórea; Pioneira; Preenchimento; Metalófita; Semente esférica de 4,5 mm; e Fácil comercialização
<i>Achyrocline satureioides</i>	Herbácea; Preenchimento; Diversidade; Forrageira; Cipsela esférica de 0,8 mm; e Fácil comercialização	<i>Mimosa scabrella</i>	Arbórea; Pioneira; Preenchimento; Semente esférica de 6 mm; e Fácil comercialização
<i>Pennisetum setosum</i>	Herbácea; Crescimento agressivo; Capacidade de inibir desenvolvimento de nativas; e ocorre em diferentes tipos de solo	<i>Alternanthera tenella</i>	Herbácea; Metalófita; Alta colonização; Agressiva
<i>Stylosanthes macrocephala</i>	Herbácea; Adubação; verde; Fixadora de Nitrogênio; e fácil comercialização	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Arbustiva; Pioneira; Alta colonização; e Invasora
<i>Arachis pintoi</i>	Herbácea; Apresenta Dormência; Fixadora de Nitrogênio; Forrageira Perene; Sementes de 13 mm; e Fácil comercialização	<i>Periandra mediterranea</i>	Arbustiva; Metalófita; Planta facilitadora; Semente alongada de 3 mm; e Apresenta associações simbióticas

Fonte: elaborado pelos autores.

Com a definição do conjunto de 16 espécies passíveis de pelotização, a busca para a aquisição de sementes considerou a disponibilidade de espécies no mercado, confiabilidade na qualidade das sementes e o credenciamento do viveiro no Registro Nacional de Sementes e Mudas (RENASEM).

A indisponibilidade no mercado de algumas das espécies selecionadas levou à escolha por outras, com características muitas vezes semelhantes àquelas que seriam substituídas, como: diferentes formatos; tamanho das sementes; rápido crescimento e cobertura do solo; espécies potenciais para adubação verde; espécies já pelotizadas; e leguminosas fixadoras de nitrogênio. Foram selecionadas seis espécies de diferentes características ecológicas, conforme mostra o **Quadro 5**.

**Quadro 5 – Espécies selecionadas para aquisição de sementes e pelotização.**

Espécie	Família	Hábito	Outras Características
<i>Echinolaena inflexa</i> (capim-flexinha)	Poaceae	Herbácea	Maior produção de biomassa; maior taxa de sobrevivência; baixa necessidade de água e nutrientes; porcentagem de germinação menor que 10%; cobertura do solo em 2 anos menor que 1%
<i>Lepidaploa aurea</i> (amargoso)	Asteraceae	Subarbusto	Bom desenvolvimento em Cerrado; indiferente à fertilidade do solo; solos drenados, rasos e profundos; cobertura do solo de 6% em 30 meses; porcentagem de germinação de 10 a 19%; rápido crescimento
<i>Crotalaria spectabilis</i> (crotalária)	Fabaceae	Arbustiva	Grande produção de biomassa; sementes de 5 mm; esféricas; leguminosa fixadora de nitrogênio (adubo verde); capacidade de controle de ervas daninhas; bom crescimento em solos compactados; rápido crescimento
<i>Stylosanthes sp.</i> (estilosante)	Fabaceae	Subarbusto	Fixação de nitrogênio (adubo verde); resistente à seca; uso em RAD; adaptada a baixa fertilidade do solo; fácil comercialização; sementes esféricas de 2,2 mm
<i>Cassia ferrugínea</i> (canafistula)	Fabaceae	Arbórea	Não pioneira; grupo de diversidade; capacidade de sobrevivência em solos pobres; dormência tegumentar; sementes de 9 mm
<i>Schinus terebinthifolia</i> (aroeira-pimenteira)	Anacardiaceae	Arbórea	Pioneira; heliófita; agressiva/rústica; comum em diferentes ambientes; muito usada em RAD; sementes esféricas de 3 mm; fácil comercialização

Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme mostra o **Quadro 5**, todas as espécies apresentaram certo grau de rusticidade, com capacidade de sobreviver em solos pobres e com baixa necessidade de água, bem como a possibilidade de formação de grande quantidade de biomassa e de fixação de nitrogênio, que possibilitará a melhoria do solo na área a ser recuperada. Tomou-se o cuidado de adquirir duas espécies por forma de vida (hábito), o que permitirá combinações entre as espécies no processo de pelotização, garantindo a diversidade estrutural e funcional no caso de múltiplas sementes por pelota.

## 4 Conclusões

O alto número de espécies identificadas com potencial de serem pelotizadas, levou a aplicação de três filtros pré-estabelecidos: Filtro 1 – exclusão de espécies com ausência de informações sobre a forma das sementes – 88 espécies; Filtro 2 – tamanho maior que 3 mm e semente aderidas ao fruto –

50 espécies; e Filtro 3 – espécies com sementes com necessidade de serem peneiradas e outras ações – 41 espécies, as quais foram classificadas de acordo com a forma das sementes; forma de vida; resistência a toxidez; bioma; endemismo; síndrome de dispersão; e tamanho das sementes.

Para a seleção das espécies a serem adquiridas para os ensaios de pelotização, a partir da lista filtrada com 41 espécies potenciais para pelotização, considerou-se a análise dos seguintes aspectos: diversificação de formas de vida; tamanho e formas das sementes; informações ecológicas; preferência por espécies metalófitas; espécies já pelotizadas experimentalmente; e espécies comerciais, resultando em 16 espécies potenciais para desenvolvimento das pelotas.

Assim, na aquisição das sementes, priorizou-se a diversidade estrutural, por meio da combinação de três formas de vida – herbácea, arbustiva e arbórea; combinação de uma espécie para cada estrato, nas diferentes classes de tamanho e forma das sementes; e combinação de espécies arbóreas de acordo com a classificação quanto ao estágio sucessional, ao grupo ecológico e ao potencial de atuar como adubação verde. Definidas as combinações possíveis dentre o conjunto das 16 espécies, foi considerada a disponibilidade de espécies no mercado, confiabilidade na qualidade das sementes e o credenciamento do viveiro no Registro Nacional de Sementes e Mudanças (RENASEM).

Diante da indisponibilidade no mercado de algumas das espécies selecionadas, foram escolhidas outras espécies, muitas vezes com características semelhantes àquelas que foram substituídas, sendo selecionadas seis espécies de diferentes características: *Echinolaena inflexa* (herbácea); *Lepidaploa aurea* (subarbusto); *Crotalaria spectabilis* (arbustiva); *Stylosanthes* sp. (subarbusto); *Cassia ferruginea* (arbórea) e *Schinus terebinthifolius* (arbórea). Essas espécies apresentam certo grau rusticidade; capacidade de sobreviver em solos pobres e com baixa necessidade de água; possibilidade de formação de grande quantidade de biomassa e de fixação de nitrogênio. A escolha por duas espécies por forma de vida (hábito) permitiu combinações entre as espécies no processo de pelotização, garantindo a diversidade estrutural e funcional no caso de múltiplas sementes por pelota.

O método de seleção de espécies vegetais para uso no processo de pelotização para RAD de áreas mineradas foi eficiente para a tomada de decisão com critérios técnicos e comerciais para realização de projeto de pesquisa de maneira a aumentar as chances de sucesso dos resultados do projeto.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem a Vale S.A. pelo apoio ao projeto “Processo de pelotização de sementes para fins de recuperação de áreas degradadas (Fase 1); ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas e à colega Tayna Cunha Souza, da Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pelas contribuições ao projeto.

## 6 Referências

- ALMEIDA, N. O. **Implantação de matas ciliares por plantio direto utilizando-se sementes pelletizadas**. 2004. 269 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- ALMEIDA, D. S. **Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD)**. In: ALMEIDA, D. S. Recuperação ambiental da Mata Atlântica. 3 ed. Ilhéus, BA: EDITUS, 2016, pp. 140-158. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/8xvf4>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- BARBOSA, L. M. et al. (org.). **Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2017. 344p.
- BAYS, R. et al. **Recobrimento de sementes de soja com micronutrientes, fungicida e polímero**. [s. l.], v. 29, n. 2, p. 60-67, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000200009>.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Uma visão ecossistêmica do processo de Restauração ecológica**. In: Rodrigues, R. R. Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF; Piracicaba: ESALQ, 2009. 256 p.
- DURIGAN, G.; ENGEL, V. L. **Restauração de ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir?** In: Martins, S. V. Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Viçosa, MG: UFV, 2012. p. 41-68.
- ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. **Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais**. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (ed.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 3-26.
- GRANT, C. et al. **Mine rehabilitation: leading practice sustainable development program for the mining industry**. Canberra, ACT: Commonwealth of Australia. 2016.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Processo de Pelotização de Sementes para fins de Recuperação de Áreas Degradadas (Fase 1)**. São Paulo: IPT, 2021. 250 p. (Relatório Técnico 161.728-205)
- MACEDO, A. C. et al, **Revegetação: matas ciliares e de proteção ambiental**. Revisado e ampliado por KAGEYAMA, P. Y.; DA COSTA, L. G. S. São Paulo: Governo do estado de São Paulo, Secretária do Meio Ambiente/Fundação Florestal, 1993. 27p.
- MINELLA, G. M.; BÜNDCHEN, M. **Técnicas de Nucleação aplicadas na recuperação de áreas degradadas**. 2011. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Diagnóstico Amb. e Recup. Áreas Degradadas) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó. 2013.

PERES, M. **Estratégias de dispersão de sementes no Bioma Cerrado: considerações ecológicas e filogenéticas.** 2016. 360 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PIETSCH, W. **Agglomeration in industry: occurrence and applications.** Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005. 825 p.

POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas nativas para recuperação de áreas degradadas e reposição de vegetação em Mato Grosso do Sul.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2002. 6 p. (Comunicado Técnico – EMBRAPA. n. 75).

POZITANO, M. **Conservação da viabilidade de sementes de *Senna macranthera* por meio de recobrimento.** 2011. 119 f. Tese (doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266857>. Acesso em 01 jul. 2021

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares.** In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação.* São Paulo: EDUSP, 2004. p. 235-247.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; ATTANASIO, C. M.; NAVE, A. G. **Adequação ambiental de propriedades agrícolas.** In: FUNDAÇÃO CARGILL (coord.). *Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas.* São Paulo: 2007. p. 145-171.

RODRIGUES, R. R. et al. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal.** São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. 266 p.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos.** Oficina de textos. 2a ed. 2008.

SILVA, S. O. et al. **Efeito da temperatura na germinação de sementes osmocondicionadas e peletizadas de macela (*Egletes viscosa* (L.) Less.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 3, p. 345-349, 2006.

SILVA, J. C. D. S.; PASCHOALIN FILHO, J. A. **Estudo comparativo entre técnicas de proteção superficial de taludes situados na rodovia SP-263: biomanta, hidrossemeadura e grama em placa.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, 7. 2018, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Uninove, 2018.

SILVA, J. B. C.; NAKAGAWA, J. **Metodologia para avaliação de materiais cimentantes para a peletização de sementes.** *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 16, n. 1, p. 31-37, 1998.

SIKHAO, P. et al. **Development of seed agglomeration technology using lettuce and tomato as model vegetable crop seeds.** Scientia Horticulturae, [s. l.], v. 184, p. 85-92, 2015.

SOLERA, M. L.; GALLARDO, A. L. C. F. ; SOUZA, C. A.; LONGO, M. H. C.; BRAGA, T. O. **Bioengenharia de solos:** aplicabilidade na recuperação de áreas mineradas e na oferta de serviços ambientais. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online), v. 34, p. 46-59, 2014.

WUTKE, E. B. et al. **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes:** informações técnicas. Brasília, DF. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. 52 p.

ZAPPI, D. C. et al. **Plantas nativas para recuperação de áreas de mineração em Carajás.** Belém: Instituto Tecnológico Vale, 2018. 286 p. Disponível em: <<https://www.itv.org/wp-content/uploads/2019/11/RADCarajas.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

10.34033/2526-5830-v6n19-2

