



USO DE INDICADORES BIOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DO SUCESSO DA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

M.L. Porto¹

M. Azzolini³; G.G. Rodrigues⁴; J.J. Zocche²; T. Focht¹; M. da S. Flores¹; P.B. Francisco²; K. Martinhago²; K.M. Costa¹; C.S. Beauvalet¹

1 Laboratório de Ecologia da Paisagem, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS (mlporto@ufrgs.br)

2 Laboratório de Ecologia de Paisagem, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade do Extremo Sul Catarinense-UNESC

3 Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS

4 Departamento de Zoologia, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

INTRODUÇÃO

Entre 2002 e 2030 a demanda de carvão deve crescer anualmente 1,4% e em 2030 o consumo de carvão deve ultrapassar sete bilhões de toneladas. No Brasil, o carvão representa apenas 6,6 % da matriz energética. As reservas nacionais de carvão são de aproximadamente 31,7 bilhões de toneladas representando apenas 1,2 % das reservas mundiais. As principais reservas brasileiras de carvão mineral estão localizadas na região Sul, sendo que o Rio Grande do Sul detém mais de 90% das reservas nacionais (ANEEL, 2003).

A utilização do carvão como recurso energético gera quantidades significativas de resíduos os quais constituem grande problema ambiental afetando diretamente o solo, a água e o ar. No Rio Grande do Sul e, especialmente, em Santa Catarina, a disposição inadequada dos resíduos de carvão causa grave impacto ambiental com comprometimento da qualidade dos recursos hídricos e do solo, sendo que só agora começam a ser reparados (Zocche & Porto, 1992, Zanardi & Porto, 1991, Marcomin & Porto 1998, Binotto, *et al.*, 1999).

O desenvolvimento de projetos para a recuperação dos ambientes degradados pela mineração e pelos depósitos de resíduos de carvão tem sido um desafio para técnicos e pesquisadores. A maioria dos projetos que visam a mitigação e/ou recuperação destas áreas consiste no recobrimento dos resíduos de carvão com uma camada de solo e a implantação de gramíneas. O critério de seleção utilizado na escolha das espécies é a disponibilidade de sementes no mercado. Porém, nem sempre as espécies são tolerantes às condições adversas destas áreas e/ou são espécies que não permitem o avanço sucessional da vegetação, o que determina o fracasso do projeto e a não construção de uma

trajetória de restauração, especialmente em médio e longo prazos.

Os processos de restauração de áreas degradadas têm sido cada vez mais discutidos, a utilização de processos que sigam as diretrizes ecológicas é fundamental para permitir o re - estabelecimento de conexões entre os ecossistemas. Em áreas impactadas por resíduos carboníferos algumas alternativas aos processos tradicionais de recuperação têm sido propostas (Azzolini, 2008). O foco é a utilização de espécies que podem cumprir o papel essencial de recobrimento rápido da área, e que contribuam para a melhoria das características físicas e químicas do solo sem interferir no avanço sucessional da vegetação.

Para avaliar o avanço da restauração ecológica é necessária a utilização de diversos critérios e estes poderão mudar em função do tempo e da área de estudo (SER, 2004). A fauna do solo, por exemplo, desempenha funções indispensáveis aos ecossistemas. Os hábitos de vida e as complexas interações alimentares desta fauna influenciam no processo de decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na aeração do solo (Brussaard, 1998; Duarte, 1998; Lavelle *et al.*, 1993; Neher, 1999), promovendo a manutenção e a elevação dos níveis de fertilidade do solo (Brussaard, 1998; Duarte, 1998), a produtividade primária das plantas (Brussaard, 1998; Neher, 1999; Wardle, 1999) e a estabilidade dos ecossistemas.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o processo inicial de restauração ecológica de ambientes construídos em área degradada pela atividade de extração e processamento do carvão, utilizando como ferramentas uma análise

multicriterial, que leve em consideração a chegada de colonizadores e o desenvolvimento de comunidades viáveis, seguindo a sucessão natural dos sistemas ecológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1-Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Treviso, SC, bioma Floresta Atlântica, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Araranguá (28°40'/29°10' e 49°20'/50°01) com uma altitude de 222 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é Cfa (Trewartha & Horn, 1980). A temperatura média anual varia de 17,0 a 19,3 °C, com máximas de 23,4-25,9 °C e mínimas de 12,0 a 15,1 °C. As chuvas apresentam boa distribuição ao longo do ano, com uma precipitação anual de 1.220 a 1.660 mm. A umidade relativa do ar varia de 81,2 a 82,2%. O relevo é acidentado, típico das regiões localizadas nas encostas do planalto sul - catarinense.

A área possui estêreis de duas áreas de mineração: Fontanela (carvão da formação Bonito) e Mina Mel (carvão formação Barro Branco). O substrato utilizado para a cobertura dos estêreis foi retirado de uma área localizada próxima à área, proveniente do horizonte "B".

O delineamento experimental constitui - se de duas parcelas de 10 X 20 m, com um espaçamento entre elas de 5 m com bordadura de 3 m na parte superior a 2 m na parte inferior, para revegetação e restauração ecológica, através do plantio de mudas de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (Poaceae) em uma parcela e *Indigofera campestris* Bong. ex Benth. (Fabaceae) na outra. A área localiza - se na penúltima rampa da montanha de depósito de estêreis de carvão, na face norte, na Carbonífera Metropolitana S.A. (28°29'00.22"/49°27'34.31"). A avaliação dos indicadores da restauração teve início em setembro de 2008.

2.2-Métodos

2.2.1-Banco de sementes no solo

As amostras compostas de solo foram coletadas em forma de "W" em cada uma das duas parcelas, constituídas por 10 sub - amostras, com amostrador de 5 cm de diâmetro (Roberts & Neilson, 1982). A coleta ocorreu em 16 - 9 - 2008. A etapa seguinte foi em casa de vegetação, na qual as amostras compostas foram fragmentadas, homogeneizadas e colocadas a germinar em bandejas de alumínio de 12 cm x 20 cm, com aproximadamente 3 cm de profundidade de solo. Quatro ciclos de germinação foram realizados, com duração de 30 dias cada com o objetivo de exaurir o BSS (Favreto & Medeiros, 2006).

2.2.2-Invertebrados de solo

As amostras da mesofauna do solo foram coletadas em cada uma das duas parcelas, constituídas por 4 sub - amostras de 5 cm de solo, usando cilindros metálicos (9,0 cm de diâmetro) em 16 - 9 - 2008 e 04 - 04 - 2009. Em seguida as amostras foram acondicionadas e levadas ao laboratório para processamento e extração em funis de Berleze por sete dias consecutivos. Após, os taxa foram separados e quantificados e identificados em nível de grande grupo. Para amostras de artropofauna de solo foram instaladas armadilhas de solo (pit fall), contendo 10% formol - dispostos de 5 em 5 m em uma transecção transversal à declividade do terreno - constituídas por 4 sub - amostras por parcela de C.

dactylon e *I. campestris* e removidos após 7 dias. A fauna encontrada foi separada e quantificada em grande grupo.

2.2.3-Composição florística do estrato herbáceo

O levantamento florístico do estrato herbáceo foi realizado nos dois tratamentos através da observação direta da vegetação em fev/2008 e abril/2009. Para a identificação e avaliação das espécies mais frequentes da vegetação foi realizado levantamento fitossociológico, utilizando - se nove parcelas de 0,5 m² em cada tratamento. Nestas parcelas também foi realizada a estimativa de cobertura utilizando a escala modificada de Braun - Blanquet.

RESULTADOS

3.1-Bancos de sementes no solo (BSS)

No início dos experimentos, em ambos os tratamentos (*C. dactylon* e *I. campestris*), no BSS não houve germinação, confirmando a baixa contribuição deste solo para o desenvolvimento de uma cobertura vegetal.

A ausência de germinação na fase inicial de manejo, assim como a lenta ocupação dos ambientes (tratamentos) e o crescimento das espécies focais foram influenciadas pelo tipo de solo utilizado para a cobertura dos rejeitos do carvão. O solo utilizado apresenta baixas concentrações de matéria orgânica e de outros nutrientes, o que favorece a ação das espécies focais, as quais deverão assumir o papel de nucleadoras neste ambiente. A nucleação é o principal elemento estruturador para o desenvolvimento de sucessão natural de comunidades viáveis, alterando os processos e padrões dos sistemas ecológicos a serem restaurados.

Embora ainda não tenha sido possível identificar as espécies germinadas em abril/2009 verificou - se um incremento no BSS, o que indica que no longo prazo, o BSS poderá ser modificado em função da presença das diferentes espécies focais.

3.2-Composição florística do estrato herbáceo

No primeiro levantamento florístico foram observadas a ocorrência de 15 espécies vegetais distribuídas em nove famílias em ambos os tratamentos. Entretanto, no segundo levantamento, observou - se um aumento do número de espécies somente no tratamento com *C. dactylon*. Neste tratamento foi observada a ocorrência de 30 espécies, enquanto que no tratamento com *I. campestris* foi observada a ocorrência de nove espécies somente. Isto possivelmente tenha ocorrido devido ao maior crescimento de *I. campestris*, que promoveu a total cobertura do solo, interferindo negativamente na germinação de sementes de outras espécies dependentes de luz. Porém, não é possível afirmar que esta interferência seja temporalmente negativa. No longo prazo, acredita - se que a fixação de nitrogênio realizada por *I. campestris* e a maior biomassa podem favorecer o desenvolvimento de outras espécies. Somente o avanço do monitoramento poderá afirmar a contribuição de cada espécie no sistema. Porém, foi possível observar o avanço da sucessão vegetacional, especialmente no tratamento com *C. dactylon*.

3.3- Invertebrados do solo

Um total de 216 invertebrados do solo foi coletado em ambos os tratamentos. Destes, 79 indivíduos foram amostrados

em set/2008 e 196 em abr/2009. Na parcela com *C. dactylon* foram registrados 146 organismos nos dois períodos (29 em set/2008 e 118 em abr/2009), enquanto que na parcela com *I. campestris* foram registrados 129 organismos (50 em set/2008 e 79 em abril/2009). A mesofauna de solo foi representada principalmente por Arthropoda. Como representantes da artropofauna foram registrados nove grupos taxonômicos. Insecta (Hexapoda) foi a classe com a maior riqueza em termos de Ordens (Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Isoptera, Psocoptera e Trichoptera) em ambas as parcelas. Acarina (Arachnida) e Collembola corresponderam aos taxa com maior abundância em ambos os tratamentos. Os resultados mostraram, que nesta fase inicial do manejo e monitoramento, não houve diferenças significativas entre a abundância da mesofauna de solo nos dois tratamentos, nem mesmo entre os períodos (set/2008 e abr/2009) analisados. A artropofauna registrada neste estudo tem como representantes organismos que possuem alto potencial para a colonização destas áreas, devido principalmente às suas estratégias de dispersão e locomoção. Podgaiski & Rodrigues (dados não publicados) encontraram estes mesmos grupos taxonômicos como representantes da artropofauna em áreas de processamento de carvão no Baixo Jacuí (RS).

Apesar dos indicativos de alterações estruturais nos tratamentos, devido à colonização de plantas herbáceas e do banco de sementes, não foi evidenciado, até o momento, mudanças nos processos funcionais, o que responde aos resultados encontrados para a fauna de solo. Espera-se que o incremento da estrutura da vegetação, bem como o aporte de nutrientes no solo, venham alterar os padrões da comunidade de invertebrados do solo e assim estimular os processos de mineralização de nutrientes e retorno ao ecossistema.

CONCLUSÃO

Os diferentes parâmetros bióticos utilizados permitiram avaliar que a implantação das duas espécies *C. dactylon* e *I. campestris* está possibilitando o estabelecimento de novas espécies vegetais, sendo este um indicador importante do avanço da restauração ecológica. Entretanto, os parâmetros da fauna de invertebrados e do banco de sementes confirmam que a restauração encontra-se em um processo incipiente. Torna-se evidente, que somente a partir da utilização de um conjunto de critérios e parâmetros biológicos é possível avaliar a estrutura e os processos ecossistêmicos e o avanço da restauração por considerar todas as inter-relações entre as variáveis bióticas e abióticas de uma determinada área.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo USITESC por financiar parcialmente o projeto, à Carbonífera Metropolitana S.A. pela área cedida ao experimento e ao CNPq e CAPES pelas bolsas de estudo e de pesquisa; ao Depto. e Centro de Ecologia/UFRGS e UNESCO.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia e Eletricidade. Atlas de energia elétrica. 2 ed., 2003, p. 119 - 126.
- Azzolini, M.. Restauração ecológica de áreas impactadas por cinza de carvão mineral: contribuição de *Ricinus communis* L. e respostas da espécie a metais pesados. Instituto de Biociências, Porto Alegre, RS, UFRGS. 2008, 181 p.
- Binotto, R.B.; Teixeira E.C.; Sánchez, J.C.D.; Nammi, A.S., Fernandes, I.D.; Migliavaca, D.M. Avaliação ambiental da Região do Baixo Jacuí: localização, descrição e caracterização dos resíduos provenientes das atividades de processamento de carvão. FEPAM/CIENTEC, Porto Alegre, 1999, 40p.
- Brussaard, L.. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 9: 123 - 135, 1998.
- Duarte, M.M.. Microartrópodes do solo (Acari e Collembola) em três áreas de campo na micro - região carbonífera do baixo Rio Jacuí, RS. Programa de Pós - graduação - ERN, São Carlos, SP, UFSCar. 1998, 92p.
- Favreto, R. & Medeiros, R.B.. Banco de sementes do solo em área agrícola sob diferentes sistemas de manejo estabelecida sobre Campo natural. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(2): 34 - 44, 2006.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Barois, S., Toutain, F., Spain, A. Schaefer, R.. 1993. A hierarchical model for decomposition in the terrestrial ecosystem. Application to soil in the humid tropics. *Biotropica*, 25: 130 - 150.
- Marcomin, F.E. & Porto, M.L.. 1998. A ecologia de paisagem e o sistema de informações geográficas (GIS) na avaliação ambiental do Rio Tubarão, SC. *Episteme*, 5: 97 - 119.
- Neher, D.A.. 1999. Soil community composition and ecosystem processes. Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, 45: 159 - 185.
- Podgaiski & L.R. Rodrigues, G.G. (dados não publicados). Assessing leaf - litter decomposition of pioneer plants and soil macrofauna community in a coal ash disposal system undergoing natural succession.
- Roberts, H.A. & Neilson, J.E.. 1982. Seed banks of soils under vegetable cropping in England. *Weed Research*, 22(1): 13 - 16.
- SER. Society for Ecology Restoration International. 2004. The SER international Primer on ecological Restoration. Disponível em <http://www.ser.org>. Acesso em 28 - 6 - 2009.
- Trewartha, G.T. & Horn, L.H. Köppen's classification of climates. In: *An introduction to climate*. McGraw - Hill, New York, 1980, p.397 - 403.
- Wardle, D.A.. 1999. How soil food webs make plants grow. *Trends in Ecology and Evolution*, 14(11): 418 - 420.
- Zanardi Jr. W. & Porto, M.L.. 1991. Avaliação do sistema de Lagoas em áreas de mineração de carvão a céu aberto: metais pesados em águas, plantas e substrato. *Boletim do Instituto de Biociências*, 49: 1 - 83.
- Zocche, J.J. & Porto, M.L.. 1992. I - Florística e campo natural sobre banco de carvão e de áreas de mineração de carvão a céu aberto. *Acta Botanica Brasílica*, 62: 47 - 84.