

**Indicadores de sustentabilidade da restauração florestal em áreas mineradas na Amazônia****Sustainability indicators of forest restoration in mining areas in the Amazon**

Recebimento dos originais: 01/12/2018

Aceitação para publicação: 04/01/2019

**Rafael de Paiva Salomão**

Doutor em Ciências Agrárias/Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Programa Professor Visitante Nacional Sênior na Amazônia/CAPES

Endereço: Av. Perimetral - Terra Firme, Belém- PA, Brasil

E-mail: rpsalomao17@gmail.com

**Vitor Hugo Freitas Gomes**

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Museu Paraense Emílio Goeldi

Endereço: Av. Perimetral, 1901 - Terra Firme, Belém- PA, Brasil

E-mail: vfgomes@museu-goeldi.br

**Silvio Brienza Júnior**

Doutorado em Agricultura Tropical pela George August University of Goettingen

Instituição: Embrapa Amazônia Oriental

Endereço: Av. Perimetral, s/n - Belém - Pará

E-mail: silvio.brienza@embrapa.br

**Gabriel Negreiros Salomão**

Mestre em Geoquímica e Petrologia pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Instituto Tecnológico Vale

Endereço: Rua Boaventura da Silva, 955-Umarizal, Belém-PA, Brasil.

E-mail: gabriel.salomao@pq.itv.org

**André Luis Ferreira Hage**

Mestrando em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural da Amazônia/

Museu Paraense Emílio Goeldi

Instituição: Museu Paraense Emílio Goeldi

Endereço: Av. Perimetral, 1901 - Terra Firme, Belém- PA, Brasil

E-mail: andreluishage@gmail.com

**RESUMO**

A restauração florestal compreende intervenções deliberadas no ecossistema durante sua trajetória, visando superar filtros ou barreiras que dificultem sua evolução rumo ao estado desejado. O monitoramento consiste na observação e registro regular das atividades do programa ambiental para verificar se seus objetivos estão sendo atingidos nos prazos esperados, consistindo na avaliação de indicadores de sustentabilidade para verificar se os objetivos e metas em cada etapa da restauração estão sendo atingidos. Este trabalho objetivou analisar a evolução do reflorestamento implantado no ano de 1996, no período compreendido entre 1996 e 2013. Posteriormente, procedeu-se uma análise conjunta (reflorestamento e regeneração natural) para avaliar a evolução da restauração florestal ao longo de 18 anos no empreendimento minerário.

**Palavras chave:** indicadores de sustentabilidade; monitoramento vegetação, restauração florestal, áreas degradadas, mineração de bauxita, Amazônia.

## ABSTRACT

The forest restoration comprises deliberate interventions in the ecosystem during its trajectory, aiming to overcome filters or barriers that hinder its evolution towards the desired state. Monitoring is the observation and regular recording of the activities of the environmental program to verify if its objectives are being reached in the expected time, consisting in the evaluation of sustainability indicators to verify if the objectives and goals in each stage of the restoration are being reached. This work aimed to analyze the evolution of the reforestation initiated in 1996, between 1996 and 2013. Later, a joint analysis (reforestation and natural regeneration) was carried out to evaluate the evolution of the forest restoration over 18 years in the development mining.

**Keywords:** Sustainability indicators; monitoring vegetation, forest restoration, degraded areas, bauxite mining, Amazon.

## 1 INTRODUÇÃO

A restauração florestal em áreas de minas a céu aberto tem preocupado pesquisadores e técnicos há mais de 60 anos. Inicialmente, com ênfase na necessidade da revegetação para o controle de erosão e para atender aspectos estéticos passou, a partir dos anos 80, além de visar a recuperação da produção primária líquida (biomassa) o aumento do incremento da biodiversidade nessas áreas restauradas.

A restauração florestal executada desde o ano de 1979, pela Mineração Rio do Norte - MRN, na Floresta Nacional (FLONA) Saracá Taquera, em Porto Trombetas (PA), envolve o reflorestamento, com uma média anual de 80 espécies, concomitantemente à incorporação e espalhamento superficial de uma camada de *top soil* que além de contribuir na estruturação do solo (substrato), disponibiliza seu rico banco de sementes que irá influir positiva e decisivamente na sucessão ecológica (Salomão et al., 2007, 2014).

A restauração florestal em sentido amplo, é a melhoria das funções do ecossistema sem que necessariamente se atinja um retorno a condições pré-distúrbios (Aronson et al., 2011). Geralmente, é dada ênfase à recuperação de processos e funções do ecossistema sem que haja um compromisso explícito em se restabelecer a composição florística original (SER, 2004; Clewell e Aronson, 2007) mas, sim, como proposto por Salomão et al (2012b) e Salomão (2015), da estrutura vertical e das principais famílias e gêneros na nova floresta em formação.

Na restauração, a trajetória esperada, entendida como sendo a rota sucessional pela qual um ecossistema se desenvolve ao longo do tempo, começa com o ecossistema destruído e progride rumo ao estado desejado de restauração. Durante sua trajetória, como o ecossistema apresenta-se extremamente instável - devido a remoção da cobertura florestal original e da camada de solo até o minério a ser explorado, e uma posterior reconformação geotécnica do terreno - os atributos

bióticos e abióticos desse novo ecossistema podem ser monitorados por meio de indicadores ecológicos (SER, 2004; Clewell e Aronson, 2007) que são variáveis perfeitamente identificáveis, fáceis de medir, de fácil compreensão e que bem representem a condição do ambiente ou as tendências de mudança numa escala temporal (Dale e Beyeler, 2001).

O monitoramento consiste na observação e registro regular das atividades do programa ambiental do empreendimento minerador, para verificar se seus objetivos estão sendo atingidos nos prazos esperados, consistindo na avaliação de indicadores de sustentabilidade (florísticos e faunísticos) para verificar se os objetivos e metas em cada etapa da restauração estão sendo atingidos. O monitoramento deve analisar a trajetória do projeto de restauração ou reabilitação do empreendimento e avaliar a necessidade ou não de manejo adaptativo que segundo Aronson et al. (2011), é uma forma de manejo que estimula, quando necessárias, mudanças periódicas nos objetivos e protocolos de manejo, em resposta aos dados de monitoramento e outras novas informações. A restauração florestal compreende intervenções deliberadas no ecossistema durante sua trajetória, visando superar filtros ou barreiras que dificultem sua evolução rumo ao estado desejado.

Este trabalho objetivou analisar a evolução do reflorestamento implantado no ano de 1996, com e sem incorporação de solo superficial, no período compreendido entre 1996 e 2013. Também, no ano de 2013, foi realizado o inventário dos indivíduos arbóreos oriundos da regeneração natural nas mesmas parcelas permanentes do reflorestamento com o objetivo de analisar os mesmos indicadores do reflorestamento. Posteriormente, procedeu-se uma análise conjunta (reflorestamento e regeneração natural) para avaliar a evolução da restauração florestal ao longo de 18 anos no empreendimento minerário.

## **2 METODOLOGIA**

As parcelas permanentes estão localizadas no Platô Saracá, com altitude média de 180m, localizado na FLONA Saracá Taquera (1°47'02.56"S - 56°31'49.00"W), no distrito de Porto Trombetas, município de Oriximiná, estado do Pará.

O reflorestamento, com incorporação de solo superficial, implantado em 1996, foi monitorado através de 23 parcelas (25m x 10m). O período de monitoramento foi de 18 anos, com oito medições plurianuais. O estudo da regeneração natural de arbóreas incluiu apenas os dados do ano de 2013 quando foram amostrados, nas mesmas 23 parcelas do reflorestamento, todos os indivíduos que começaram a colonizar a área (sucessão natural) desde o início de sua implantação (1996). Foi analisado o grupo ecológico (Gandolfi et al., 1995) e o(s) agente(s) dispersor(es) de todas as espécies do reflorestamento e da regeneração natural (sucessão ecológica).

Os indicadores analisados para o reflorestamento foram a densidade de plantio, a mortalidade periódica absoluta e relativa, o crescimento do diâmetro, da altura e da área basal das espécies amostradas do reflorestamento. Estas variáveis, com distribuição normal, foram calculadas em função da média e do desvio padrão da respectiva variável. Para a regeneração natural foram calculadas a abundância (número de indivíduos por unidade de área), os diâmetros médios (DAP e DAS) por espécie, a área basal e a riqueza, traduzida pelo número de espécies e famílias dos indivíduos amostrados.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 REFLORESTAMENTO

Os resultados dos indicadores analisados para o reflorestamento como a densidade de plantio, a mortalidade periódica absoluta e relativa, o crescimento do diâmetro, da altura e da área basal das espécies encontram-se sumarizados na Figura 1.

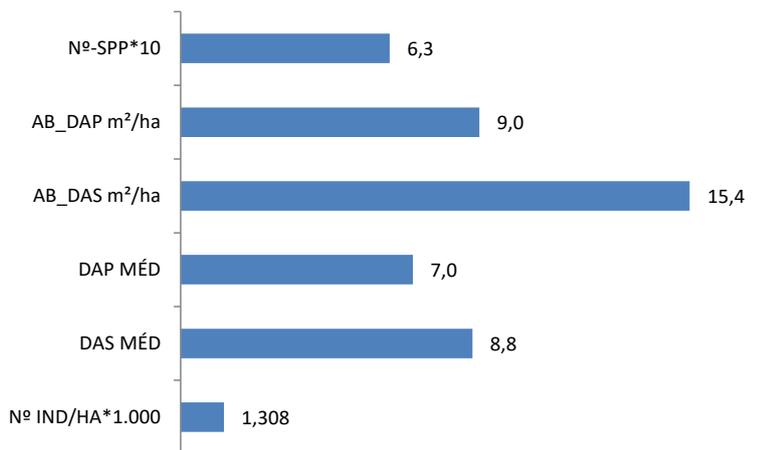


Figura 1. Indicadores de sustentabilidade analisados para o reflorestamento após 18 anos.

No plantio florestal de 1996, foram registradas 89 espécies distribuídas em 24 famílias, com número de indivíduos (n), por espécie, variando de 2 a 190 árvores ha<sup>-1</sup>. Em 2013, o número de espécies caiu para 63 e o número de indivíduos variou de 2 a 148 árvores ha<sup>-1</sup>. Cinco espécies exóticas plantadas em 1996, persistiram após 18 anos: *Caesalpinia ferrea*, *Licania tomentosa*, *Adenantha pavonina*, *Anacardium occidentale* e *Eugenia cumini*.

A densidade média de plantio estimada para o ano de 1996 foi de 3.499 mudas ha<sup>-1</sup>; média de 33 mudas por espécie; 31 espécies (34,8% do total), entre as 89 empregadas naquele ano, apresentaram densidades superiores a média. Em 2013, decorridos 18 anos, a densidade foi estimada em 1.308 mudas ha<sup>-1</sup>; média de 21 árvores por espécie; 12 espécies (19,1% do total), entre

as 63 que apresentaram indivíduos vivos em 2013, tiveram densidades superiores a média. Apenas seis espécies (9,5%) responderam por metade da abundância total, em 2013: *Tapirira guianensis*, *Enterolobium schomburgkii*, *Mezilaurus itauba*, *Dalbergia spruceana*, *Parkia multijuga* e *Geissospermum sericeum* com respectivamente 148, 122, 111, 103, 97 e 73 árvores ha<sup>-1</sup>.

A mortalidade periódica ao longo dos 18 anos de monitoramento foi de 60,6% (média de 3,4% ao ano) sendo que 21 espécies apresentaram mortalidade acima da média enquanto outras 29 ficaram abaixo da média. No período analisado, a mortalidade observada para 26 espécies foi de 100% enquanto para outras 13 foi nula. As 21 espécies que estão acima da média tinham, em 1996, 1.188 indivíduos (34% do total), já em 2013, totalizavam 139 árvores correspondentes a 10,6% do total.

O diâmetro ao nível do solo médio (DAS) das 63 espécies variou de 1,0±0,7cm (n=2.012 mudas), em 1996, a 8,8±8,5cm (n=752 árvores), em 2013. O diâmetro a 1,30m do solo (DAP) variou de 2,2±0,8cm (n=399), em 1998, a 7,0±7,1cm (n=663), em 2013. A área basal, em função do DAS, variou de 0,39 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, em 1996, a 15,35 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, em 2013 e em função do DAP a variação foi de 0,29 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, em 1997, a 9,01 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, em 2013.

### 3.2 REGENERAÇÃO NATURAL

Foram registradas, no ano de 2013, nas mesmas 23 parcelas permanentes para amostragem do reflorestamento, 1.529 indivíduos (2.659 ind ha<sup>-1</sup>), totalizando 77 espécies, distribuídas em 25 famílias, oriundas da regeneração natural de arbóreas.

A espécie de maior abundância foi *Vismia latifolia* com 1.043 ind ha<sup>-1</sup> (39,2% do total), seguida de *Goupia glabra* e *Bellucia grossularioides* com respectivamente 245 ind ha<sup>-1</sup> (9,2%) e 143 ind ha<sup>-1</sup> (5,4%); apenas estas três espécies (3,9% do total) responderam por praticamente 54% do total do número de árvores oriundas da regeneração natural. Trinta e quatro espécies apresentaram a menor estimativa de abundância (2 ind ha<sup>-1</sup> por espécie); ou seja, 44,2% do total de espécies ocorreram com apenas 60 ind ha<sup>-1</sup> (2,3%) da abundância total após 18 anos de sucessão natural.

O diâmetro médio calculado foi de 6,1±4,9 cm quando se considera o DAS, e de 4,7±4,0 cm para o DAP; a área basal foi de respectivamente 12,8 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> e 4,7 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>. Dez espécies (13,0% do total) apresentaram DAS superior a 10cm destacando-se *Byrsonima crysophylla*, *Byrsonima amazonica*, *Siparuna sp*, *Byrsonima aerugo*, *Byrsonima stipulacea* e *Jacaranda copaia* com respectivamente 35.8, 29.7, 18.2, 17.7, 14.2 e 11.2 cm. Com relação ao DAP apenas seis espécies (7,8%) atingiram mais de 10cm após 18 anos de sucessão natural: *Byrsonima crysophylla*,

*Byrsonima amazonica*, *Byrsonima aerugo*, *Siparuna sp*, *Byrsonima stipulacea* e *Tapirira guianensis* com respectivamente 21.5, 17.5, 12.9, 12.0, 11.7 e 10.7 cm.

Os resultados dos indicadores analisados para o reflorestamento como a densidade de plantio, a mortalidade periódica absoluta e relativa, o crescimento do diâmetro, da altura e da área basal das espécies encontram-se sumarizados na Figura 2.

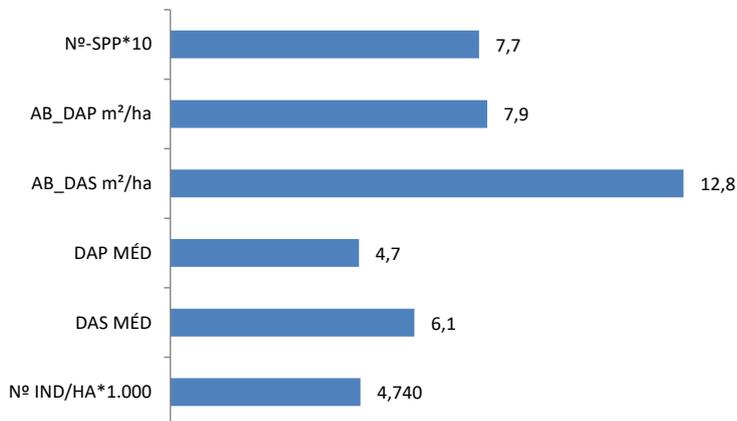


Figura 2. Indicadores de sustentabilidade analisados para a regeneração natural de arbóreas após 18 anos.

## 4 DISCUSSÃO

A mortalidade periódica no reflorestamento, ao longo dos 18 anos de monitoramento, foi de 60,6% - média de 3,4% ao ano. O número elevado de espécies com altas taxas de mortalidade, de praticamente  $\frac{1}{3}$  do total de espécies plantadas em 1996, pode indicar que o estágio sucessional das mesmas não esteja sendo observado e que, a se confirmar, deverão ser feitos ajustes no tempo de plantio dessas espécies. Uma taxa de mortalidade de 10% de mudas foi considerada como referência por Almeida e Sánchez (2005) em projetos de revegetação, apesar de terem verificado 38% de mudas mortas em dois projetos de revegetação de áreas mineradas no Estado de São Paulo. Segundo Piña-Rodrigues et al. (1997), até 20% de mortes de mudas podem ser consideradas normais em projetos de revegetação de áreas mineradas. Em ambos os trabalhos não se fez referência ao período de tempo considerado. Salomão et al. (2013) registraram 10 espécies com mortalidade superior a 94% no período de 13 anos e que deveriam ser descartadas, em contraposição a outras três com mortalidade inferior a 18%, que deveriam ser priorizadas nos plantios de restauração florestal.

Considerando-se, doravante, o reflorestamento conjuntamente com a regeneração natural tem-se que a composição florística, decorridos 18 anos, apresentou um total de 120 espécies, distribuídas em 33 famílias (Figura 3). Com relação às espécies observou-se que 45 (37,5%) são exclusivas do reflorestamento e 59 (49,2%) da regeneração natural; apenas 16 (13,3%) são originárias de ambos. Estes dados demonstram que no período de 18 anos da restauração florestal a

regeneração natural contribuiu majoritariamente com a riqueza total de espécies (pouco menos de  $\frac{2}{3}$ ).

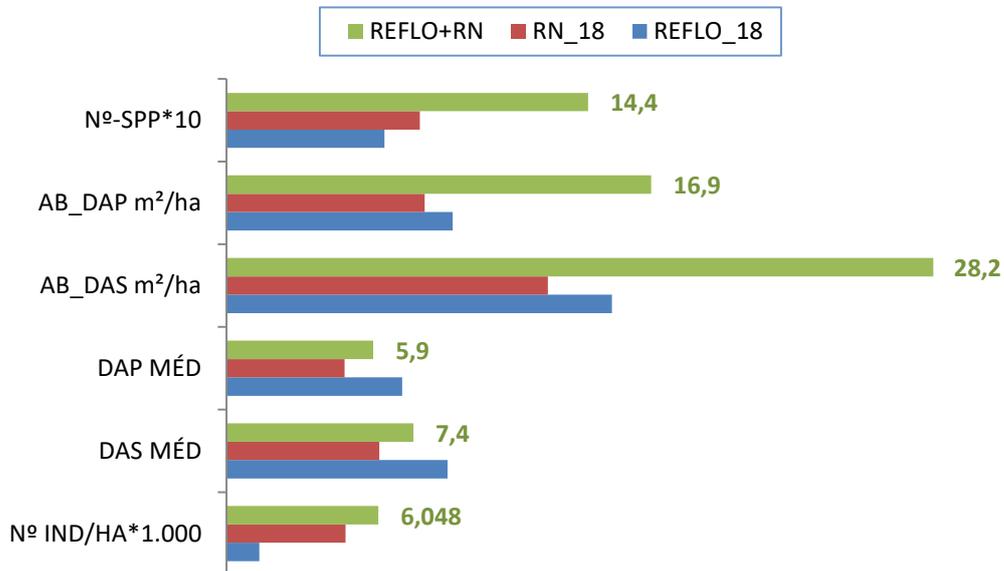


Figura 3. Indicadores de sustentabilidade analisados para o reflorestamento e para a regeneração natural após 18 anos.

Aos 18 anos, a abundância foi de 3.967 árvores  $\text{ha}^{-1}$ , sendo 1.308 originárias do reflorestamento e 2.659 da regeneração natural, ou seja, praticamente  $\frac{1}{3}$  é do reflorestamento enquanto  $\frac{2}{3}$  são da regeneração. As 16 espécies que ocorreram em ambas amostragens contribuíram com uma abundância de 963 árvores  $\text{ha}^{-1}$  (24,3% do total).

Apenas sete espécies, de um total de 120, responderam por mais da metade do total da abundância. As duas espécies com maior valor relativo *Vismia latifolia* (26,3%) e *Goupia glabra* (6,2%) tiveram origem exclusivamente da regeneração natural; as cinco espécies a seguir apresentaram indivíduos oriundos de ambos: *Parkia multijuga*, *Tapirira guianensis*, *Bellucia grossularioides*, *Enterolobium schomburgkii* e *Mezilaurus itauba*. A espécie de melhor performance foi *P. multijuga* que ocorreu com 97 e 99 árvores  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente no reflorestamento e na regeneração natural; nenhuma outra ocorreu com esta proporção tão equilibrada e alta, indiferentemente da técnica silvicultural empregada; à exceção daquelas três com abundâncias inferiores a 10 árvores  $\text{ha}^{-1}$ : *Licania alba* e *Licania octandra* (5 árvores  $\text{ha}^{-1}$  cada) e *Guatteria poepigiana* (3 árvores  $\text{ha}^{-1}$ ).

O diâmetro médio, considerando-se o DAS, foi de 7,4 cm; considerando-se o DAP foi de 5,9 cm. A área basal, em função da DAP, foi estimada em 16,9  $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ , já em função do DAS foi de 28,2  $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ . Estes valores permitem projetar um incremento médio anual de respectivamente 0,41 e

0,33 cm ano<sup>-1</sup>. Para a área basal, em função do DAS e do DAP, estes incrementos foram de 1,57 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> e 0,94 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.47-54. 2005

ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. São Paulo, **IF Sér. Reg.**, n. 44 p. 1 - 38. 2011.

CLEWELL, A.F.; ARONSON, J. **Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession**. Washington, D.C.: Island Press, 216 p. 2007.

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H. F.; BEZERRA, C. L. F. Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecídua no município de Guarulhos, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; LOPES, L.; BLOOMFIELD, V. K. Análise do desenvolvimento de espécies arbóreas da Mata Atlântica em sistema de plantio adensado para a revegetação de áreas degradadas em encosta, no entorno do Parque Estadual do Desengano (RJ). In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas - III SINRAD, 1997, Ouro Preto. **Anais...** Curitiba:Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas/Sobrade:Universidade Federal de Viçosa/UFV, p.283-291. 1997.

SALOMÃO, R.P. **Restauração Florestal de Precisão: dinâmica e espécies estruturantes - Evolução de áreas restauradas em uma unidade de conservação na Amazônia**; Porto Trombetas, Pará. Saarbücken, Deutschland:Novas Edições Acadêmicas, V.1, 395 p. 2015.

SALOMÃO, R.P.; BRIENZA JÚNIOR, S.; N.A. ROSA. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, p.1-24, 2014.

SALOMÃO, R.P.; N.A. ROSA; MORAIS, K.A.C. Dinâmica da regeneração natural de árvores em áreas mineradas na Amazônia. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. Nat.**, Belém, v. 2, n. 2, p. 85-139. 2007.

SALOMÃO, R.P.; SANTANA, A.C.; BRIENZA JÚNIOR, S. Análise da florística e estrutura de floresta primária visando a seleção de espécies-chave, através de análise multivariada, para a restauração de áreas mineradas em unidades de conservação. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.989-1007, 2012b.

SALOMÃO, R.P.; SANTANA, A.C.; BRIENZA JÚNIOR, S.; GOMES, V.H.F.. Análise fitossociológica de floresta ombrófila densa e determinação de espécies-chave para recuperação de área degradada através da adequação do índice de valor de importância. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. Nat.**, Belém, v. 7, n. 1, p. 57-102. 2012a.

SER. Society for Ecological Restoration. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**, 2004. SER and Tucson: Society for Ecological Restoration International. Disponível em: <<http://www.ser.org>> Acesso em: 4 de outubro de 2010.