**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**Dinâmica da restauração dos bens e serviços ecossistêmicos no
Pontal do Paranapanema – São Paulo - Brasil**

Thiago Junqueira Roncon

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Ecologia
Aplicada

**Piracicaba
2016**

Thiago Junqueira Roncon
Graduado em Ciências Biológicas

**Dinâmica da restauração dos bens e serviços ecossistêmicos no
Pontal do Paranapanema – São Paulo – Brasil**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO YOSHIO KAGEYAMA**

Co-Orientador:
Prof. Dr. **ENRIQUE ORTEGA RODRIGUEZ**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Ecologia
Aplicada

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Roncon, Thiago Junqueira
Dinâmica da restauração dos bens e serviços ecossistêmicos no Pontal do
Paranapanema – São Paulo - Brasil / Thiago Junqueira Roncon. - - versão revisada de
acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
126 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de
Energia Nuclear na Agricultura.

1. Avaliação emergética 2. Floresta tropical 3. Recursos renováveis 4. Valoração
ecológica 5. Recuperação de áreas degradadas 6. Sucessão ecológica I. Título

CDD 634.94
R769d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

**Aos meus orientadores, por
trabalharem em prol da conservação
dos recursos naturais; à minha esposa
Milena, por todo companheirismo; aos
meus sobrinhos Joaquim, Alice e Maria
(consideração), próxima geração a
enfrentar os desafios da conservação
dos recursos naturais; e a minha
família, pelo exemplo de cuidado com a
terra, dedico.**

AGRADECIMENTOS

A gradeço à/às/ao/aos:

Energias da natureza, por permitir a concepção e o desenvolvimento deste estudo.

Meus Pais, Alberto e Gláucia, por sua presença de espírito, pelo exemplo de vida, por me motivar e apoiar esta trajetória.

Irmão Lucas, tio Ricardo, minha avó Guiomar (Tita) e avô Francisco (Chico – *In memorian*), pelo exemplo no campo, por estarem presentes e sempre dispostos a refletir sobre o uso e a conservação da terra.

Minha esposa Milena, por me acompanhar, apoiar e compreender minha ausência durante alguns momentos do desenvolvimento deste estudo.

Parceiros Wagner e Gisele Zoriki, por apoiarem o desenvolvimento de projetos de conservação dos recursos naturais.

Universidade de São Paulo e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz por me receber e disponibilizar a estrutura necessária o desenvolvimento deste estudo.

Professores Orientadores, Paulo Yoshio Kageyama e Enrique Ortega Rodriguez, pela oportunidade de realizar este estudo, pelos ensinamentos em classe e no campo, pela parceria, pelo exemplo profissional, pela liberdade de expressão, pela grande paciência que tiveram comigo neste período de desenvolvimento intelectual e pelos grandes momentos de descontração.

Secretária de Pós-graduação, Antônia Mara Piacentini Casarin, por toda paciência, atenção, pronto atendimento e pelos ensinamentos durante os processos formais.

Coordenação do Curso, Maria Victória e Maria Elisa, por toda atenção, orientação, prontidão nos processos formais e exemplo profissional.

Professor José Geanini Peres e ao técnico Rúbens pelos ensinamentos, apoio nas análises físicas de solo e exemplo profissional.

Professor José Carlos Casagrande pelos ensinamentos, apoio nas análises químicas de solo e exemplo profissional.

CESP, na pessoa de João Henrique, Woshington Geres, Celso Machado e Toninha, pela abertura, disposição e ensinamentos durante a coleta de dados e trabalhos de campo.

DUKE-ENERGY, na pessoa de Rogério Cânovas e Mauricio (Grupo TCM), pela abertura, disposição e ensinamentos durante a coleta de dados e trabalhos de campo.

APOENA, na pessoa de Djalma Weffort, pela abertura, disposição, hospedagem na sede de campo da ONG e ensinamentos durante a coleta de dados e trabalhos de campo.

Equipe do Parque Estadual do Morro do Diabo: Natália, Rafaela, Hélio, Osvaldo, Helder, Adrieli, Leandro, Ilda, Donisete, Jecy, Raul, Edivaldo, Antônio, Renato, Dario. Pelo acesso, abertura, ensinamentos, parceria e dedicação.

Equipe do Laboratório de Reprodução e Genética de Espécies Arbóreas (LARGEA), em especial Elza Martins Ferraz e Maria Andréia Moreno, pelos ensinamentos e prontidão no auxílio às atividades laboratoriais.

Aos companheiros de campo, Genildo, Maurício e Sr. Dario, pelo grande apoio, companheirismo, ensinamentos, e pela satisfação ao trabalhar ao lado de vocês.

Grandes irmãos de Rancharia e me desculpem pela ausência.

Biblioteca Central da ESALQ/USP, na pessoa de Sílvia Maria Zinsly, por todo apoio, prontidão e ensinamentos durante a formatação e encaminhamento deste documento.

Estudantes do ensino médio do Colégio Alpha (turma de 2015), pela paciência nas minhas ausências devido a minha dedicação às atividades deste estudo.

Demais estudantes de Pós-graduação e Graduação pela vivência.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

EPÍGRAFE

"As vozes dos intelectuais que estudam a dinâmica social e ambiental são abafadas pelo monopólio da mídia, que prioriza as falas das celebridades, políticos, anunciantes, humoristas e jornalistas engajados nos assuntos de curto prazo. Mas se observarmos nas estantes das livrarias, encontraremos textos sobre decrescimento, manutenção da situação econômica e prevenção da escassez mundial de recursos. As advertências sobre as mudanças econômicas que se avizinham já se estendem por meio século, e paradoxalmente essa é uma das razões pelas quais são ignoradas (como no conto Pedrinho e o Lobo). Em contrapartida, muitos autores se sentem a vontade para escrever sobre a expansão contínua do consumo."

Howard T. Odum e Elizabeth C. Odum

Sumário

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
1.1 AVALIAÇÃO EMERGÉTICA (AEm)	16
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	21
2.1 HIPÓTESE	21
2.2 OBJETIVO GERAL	21
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 MÉTODOS	23
3.1 REGIÃO DE ESTUDO.....	23
3.2 DATA E COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS	23
3.3 ESCOLHA DAS ÁREAS.....	24
3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS.....	25
3.4.1 MODELO DE IMPANTAÇÃO DAS ÁREAS.....	28
3.4.2 DEMARCAÇÃO DAS PARCELAS AMOSTRAIS	28
3.5 COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS	31
3.5.1 ESPÉCIMES ARBÓREOS	31
3.5.2 DEPOSIÇÃO E FERTILIDADE DA SERAPILHEIRA	32
3.5.3 FERTILIDADE E FÍSICA DO SOLO	33
3.5.4 REGENERAÇÃO DE ESPÉCIMES ARBÓREOS	36
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1 DADOS PRIMÁRIOS.....	38
4.2 AVALIAÇÃO EMERGÉTICA (AEm)	38
4.2.1 DIAGRAMAÇÃO	39
4.2.2 TABELAS DE AVALIAÇÃO EMERGÉTICA	39
4.2.3 MODELAGEM ECOSSISTÊMICA.....	39
4.2.4 ENTRADAS DO MODELO	40
4.2.4.1 RECURSOS DA NATUREZA RENOVÁVEIS (R).....	40
4.2.4.2 RECURSOS DA NATUREZA NÃO RENOVÁVEIS (N)	40
4.2.4.3 RECURSOS DA ECONOMIA (F)	41
4.2.4.4 PORÇÃO RENOVÁVEL DOS MATERIAIS (M_R).....	41
4.2.4.5 PORÇÃO NÃO RENOVÁVEL DOS MATERIAIS (M_N)	41
4.2.4.6 PORÇÃO RENOVÁVEL DOS SERVIÇOS (S_R)	41
4.2.4.7 PORÇÃO NÃO RENOVÁVEL DOS SERVIÇOS (S_N).....	41

4.2.5 SAÍDAS DO MODELO.....	41
4.2.5.1 PRODUTOS DO SISTEMA (P).....	41
4.2.5.2 ENERGIA DO SISTEMA (Y).....	42
4.2.5.3 ENERGIA DOS PRODUTOS DO SISTEMA (E).....	42
4.2.6 ÍNDICES EMERGÉTICOS.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 DENSIDADE E RIQUEZA.....	45
5.2.2 INDICES EMERGÉTICOS.....	69
5.3 RESTAURAÇÃO DOS BENS E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	73
6 CONCLUSÕES.....	85
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS	89
ANEXO	103

RESUMO

Dinâmica da restauração dos bens e serviços ecossistêmicos no Pontal do Paranapanema – São Paulo – Brasil

O processo de restauração ecológica utiliza recursos da natureza e da economia para promover a recuperação de áreas degradadas, característica decorrente do esgotamento local dos recursos naturais renováveis. Frente às adversidades e dos custos ambientais e econômicos para que estas áreas possam ser recuperadas, este estudo objetivou desenvolver a avaliação Emergética que contabiliza não só o trabalho da economia, mas também o trabalho da natureza, na mesma unidade de medida, para avaliar o processo de restauração ecológica em áreas do Pontal do Paranapanema, sudoeste do Estado de São Paulo, Brasil. Testou-se a hipótese de que estes trabalhos de restauração, norteados pelas características da dinâmica das florestas tropicais naturais, contribuem para a restauração dos bens e serviços ecossistêmicos nestas áreas. Os resultados evidenciam que as operações de restauração investem muitos recursos da economia não renováveis, o que caracteriza a baixa renovabilidade deste processo nos primeiros anos (em torno de 30%). A economia contribui com 82% dos investimentos no 1º ano e 78% no 2º ano. O uso de herbicida representa o maior investimento de materiais não renováveis. A somatória dos bens restaurados avaliados variam de 153,93 EmUS\$/ha a 328.283,16 EmUS\$/ha e somatória dos serviços restaurados avaliados variam de 366,63 EmUS\$/ha.ano a 1.736,47 EmUS\$/ha.ano, para áreas em processo de restauração com idade de 1,5 a 26 anos, respectivamente. Os resultados para o ecossistema de referência, o Parque Estadual do Morro do Diabo, chegam a 5.981,64 EmUS\$/ha.ano para a prestação de serviços ecossistêmicos e 422.915,69 EmUS\$/ha referente ao estoque de bens ecossistêmicos. Diante dos resultados, conclui-se que a busca por uma alternativa renovável ao uso de herbicidas é o principal desafio para aumentar a renovabilidade no curto prazo do processo de restauração ecológica. A valoração da restauração dos bens e serviços ecossistêmicos permitiu comprovar a hipótese de que os trabalhos de restauração ecológica, embasados na dinâmica da floresta tropical natural, restauram bens e serviços ecossistêmicos no Pontal do Paranapanema.

Palavras-chave: Avaliação emergética; Floresta tropical; Recursos renováveis; Valoração ecológica; Recuperação de áreas degradadas; Sucessão ecológica

ABSTRACT

Restoration of dynamics of ecosystem goods and services in the Pontal do Paranapanema - São Paulo - Brazil

The ecological restoration process uses nature's and economy resources to promote the recovery of degraded areas, characteristic resulting from the local exhaustion of renewable natural resources. In the face of adversity and the environmental and economic costs for these areas can be retrieved, this study aimed to develop Emergy evaluation that accounts for not only the work of the economy, but also the work of nature, in the same unit of measurement to assess the process ecological restoration in the Pontal do Paranapanema areas, southwest of the State of São Paulo, Brazil. We tested the hypothesis that these restoration works, guided by the dynamic characteristics of natural tropical forests, contribute to the restoration of the ecosystems goods and services in these areas. The results show that restore operations invest a lot of resources of non-renewable economy, which characterizes the low renewability of this process in the early years (around 30%). The economy accounts for 82% of investments in the 1st year and 78 % at 2st year. The use of herbicide is the biggest investment of non-renewable materials. The sum of stocks restored evaluated range from 153.93 EmUS\$/ha to 328,283.16 EmUS\$/ha and the sum of the assessed restored services range from \$ 366.63 EmUS\$/ha.year to 1736.47 EmUS\$/ha.year to areas where restoration process aged 1.5 to 26 years, respectively. The results for the reference ecosystem, the State Park of Morro do Diabo, reach 5981.64 EmUS\$/ha year for the provision of ecosystem services and 422,915.69 EmUS\$/ha referring to the stock of ecosystem goods. Given the results, we conclude that the search for a renewable alternative to herbicides is the main challenge to increase in the short term renewability of the ecological restoration process. The valuation of assets and restoration of ecosystem services helped to check the hypothesis that the ecological restoration work, based on the dynamics of natural tropical forest are restore ecosystem goods and services in the Pontal do Paranapanema.

Keywords: Emergy evaluation; Tropical forest; Renewable resources; Ecological valuation; Recovery of degraded areas; Ecological succession

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dos principais atributos dos ecossistemas é a sua capacidade de mudança temporal (ENGEL e PARROTTA, 2008). Estas flutuações na sua estrutura e função são consequências das alterações ambientais de curto, médio e longo prazo (KIMMINS, 1987).

Os ecossistemas sofrem mudanças, em diferentes intensidades, pois estão sujeitos a distúrbios naturais e/ou antrópicos (ENGEL e PARROTTA, 2008). O distúrbio, relacionado a florestas, é definido como qualquer evento, natural ou antrópico, que cria uma abertura no dossel; em florestas tropicais os distúrbios antrópicos, de forma genérica, são de grande escala, intensidade e frequência do que os distúrbios naturais (UHL et al., 1990).

No Brasil, pode-se observar tal situação no Estado de São Paulo, onde a Mata Atlântica recobria 80% da sua área total e atualmente restam menos de 8% (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2000). Na prática, a destruição da cobertura vegetal e da fauna, a perda da camada fértil do solo e alterações na qualidade e vazão do sistema hídrico, são fatores que definem uma área degradada (MINTER/IBAMA, 1990).

Brown e Lugo (1994) descrevem áreas degradadas como aquelas tão alteradas pelo homem que os inputs naturais (massa, energia e informação) não são mais capazes de repor as perdas de matéria orgânica e nutrientes do solo, biomassa e estoque de propágulos, entre outros. Para Engel e Parrotta (2008), nestes casos, a intervenção do homem é necessária para direcionar o processo de restauração rumo à sucessão natural.

Engel e Parrotta (2008) definem a “restauração ecológica” como a “ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais”.

Neste contexto, Engel e Parrotta (2008) deixam claro que a restauração ecológica possui metas a serem alcançadas a curto, médio e longo prazo; em curto prazo estaria os serviços ambientais do ecossistema, tais como o controle da erosão, melhoria da fertilidade do solo, estabilização do ciclo hidrológico, aumento da biodiversidade, da produtividade primária e da fixação de CO₂, bem como a melhoria da qualidade de vida para o homem; no médio prazo estariam o

enriquecimento e aumento da complexidade estrutural do habitat, aumento da biodiversidade e a regeneração de algumas espécies; já em longo prazo, o objetivo é a sustentabilidade.

Segundo Kageyama et al. (2008), a restauração de áreas degradadas pode ter um papel importante na conservação da biodiversidade, servindo também de reserva genética. Para tanto, a utilização de espécies nativas tem maior probabilidade de ter, no plantio de restauração, os seus polinizadores, dispersores e predadores naturais, o que é indispensável para que as populações implantadas tenham normalidade na sua reprodução e regeneração natural (KAGEYAMA e GANDARA, 2000). A restauração de um local só poderá ser considerada de forma efetiva quando, ao menos parte desta biodiversidade e dos processos a ela associados estão presentes (KAGEYAMA et al., 2002).

1.1 Avaliação Emergética (Aem)

A **Energia** pode ser entendida como “memória energética” (SCIENCEMAN, 1987), pois ela representa toda a energia solar incorporada no desenvolvimento de um recurso específico (ODUM, 1996), neste projeto entende-se como “recurso” os componentes em processo de restauração nas áreas de estudo/controle. Nesta metodologia são empregados fatores de transformação (“transformidades”) que permitem converter diferentes unidades de medida para a mesma unidade: “Joules de energia solar” (seJ). Ter os fluxos de insumos, estoques e produtos na mesma unidade de medida permite calcular e comparar razões; já os indicadores **Energéticos** permitem avaliar o desempenho ecossistêmico e a sustentabilidade de ecossistemas (ODUM, 1996).

Muitos trabalhos internacionais empregam a **AEm** para estudar sistemas florestais e valorar bens e serviços ecossistêmicos (BROWN e ULGIATI, 1999; ODUM et al., 2000; ODUM e ODUM, 2000; SCATENA et al., 2002; TILLEY e SWANK, 2003; TILLEY, 2006; BROWN e CAMPBELL, 2007; LU et al., 2007; CAMPBELL e OHRT, 2009; ULGIATI e BROWN, 2009).

Destaca-se o trabalho de Odum et al. (2000) que avaliaram seis maneiras de reflorestamento de áreas degradadas em Porto Rico, este estudo mostra a avaliação das contribuições **Energéticas** da floresta e o benefício público destas atividades, fundamentando a utilização desta metodologia para selecionar/validar metodologias de reflorestamento.

Brown e Campbell (2007) empregaram a **AEm** para estimar o valor do capital natural e os serviços ambientais florestais nos Estados Unidos, em 2005, em 42,7 milhões de dólares e compararam o preço de mercado de serviços ambientais e o capital natural com o **Em**-dólar equivalente e observaram que os valores de **Em**-dólar calculados para os serviços ambientais foram 8,2 vezes maiores que o valor de mercado desses serviços; esta variação demonstra o diferencial entre as metodologias, pois **AEm** incorpora as contribuições da natureza, além das contribuições da economia.

Um dos primeiros estudos nesta temática no Brasil foi realizado por Watanabe (2008), que empregou a metodologia **Emergética** para estimar as diferenças entre os valores (em termos de energia e valor monetário) dos serviços ecossistêmicos prestados por mata nativa e plantações de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo; neste estudo foi considerado o ciclo da água, do carbono e do nitrogênio, indicando que a conversão de áreas florestadas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar diminui a quantidade e a qualidade dos serviços prestados por estas áreas.

Já Roncon (2011), estudou a dinâmica da sucessão natural secundária de acordo com o diagrama mostrado na Figura 1^a e 1^b; este estudo permitiu o desenvolvimento da valoração ecológica dos bens e serviços ambientais recuperados durante a sucessão de fragmentos florestais. Este estudo evidenciou a variação da recuperação dos bens e serviços ambientais em função do tempo de sucessão e a importância econômica e ecológica da manutenção/recuperação de Áreas de Preservação Permanente.

Figura 1^a - Legenda dos símbolos utilizados no diagrama da Figura 01a (ODUM, 1996)

Figura 1^b - Diagrama que ilustra as relações entre as estruturas, componentes e processos estudados em Áreas de Preservação Permanente – APP (RONCON, 2011)

No Brasil, os trabalhos de restauração de áreas degradadas com reflorestamento de alta diversidade de espécies nativas datam a década de 1980 (BELLOTTO et al., 2011). Contudo, as iniciativas de monitoramento e avaliação de áreas em processo de restauração ainda são escassas e recentes, apesar de fundamentais para a avaliação da eficácia das ações de restauração, validação de metodologias (PARROTTA et al., 1997; PULITANO e DURIGAN, 2004; SILVEIRA e DURIGAN, 2004; SOUZA e BATISTA, 2004; MELO e DURIGAN, 2007; BELLOTTO et al., 2011).

Se focarmos a avaliação e a valoração da recuperação dos bens e serviços ambientais em projetos de restauração e sucessão florestal, os trabalhos são ainda mais escassos, encontrando-se apenas estudos correlacionados como o de Odum et al. (2000), Brown e Campbell (2007), LU et al. (2007), Roncon (2011) e Albuquerque (2012).

Segundo a análise de escala global sobre a temática dos serviços ecossistêmicos (SE), realizada na Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2003; MEA, 2005), constatou-se que cerca de 60% dos SE do planeta são afetados seriamente por não apresentarem valor de mercado, assim, são ignorados durante

as tomadas de decisão de conversão do uso do solo (POST, 2007).

Uma referência para os trabalhos de valoração dos serviços ecossistêmicos foi desenvolvida por Costanza et al. (1997), este grupo de pesquisa estimou o valor total dos serviços ecossistêmicos dos diversos biomas da biosfera, os resultados médios somam US\$ 33 trilhões para o ano de 1994; é importante destacar que este estudo empregou metodologias econômicas neoclássicas, como as utilizadas atualmente por projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Brasil, que ignoram as contribuições da natureza.

Segundo a análise de Voora e Thrift (2010), tudo indica que métodos biofísicos são desejáveis para valoração de bens e serviços ecossistêmicos e empregar a **AEm** em conjunto com a Análise Econômica pode levar a uma avaliação mais ampla e completa, que reflete as preferências humanas, bem como a tendência evolutiva do ambiente natural para a eficiência energética.

Destaca-se, ainda, a importância da combinação de metodologias para evidenciar o quanto os projetos de restauração florestal podem contribuir com a mitigação das mudanças climáticas.

A **AEm** permite avaliar e valorar as metas da restauração florestal de forma holística, promovendo a integração dos dados ecológicos (chuva, qualidade do solo, biomassa, diversidade) com dados econômicos (materiais, maquinaria, combustível, serviços, pagamentos).

Um dos estudos mais críticos sobre **Energia**, aplicada na valoração de bens e serviços ecossistêmicos, foi realizado por Voora e Thrift (2010); estes autores afirmam que apesar da complexidade conceitual e metodológica, a abordagem **Emergética** é utilizada em estudos acadêmicos e por órgãos governamentais; como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (APA-EUA) e o Serviço Florestal dos Estados Unidos da América (SF-EUA) como subsídio para a tomada de decisão e formulação de políticas, para tanto, os autores fazem referência aos trabalhos de Brown e Campbell (2007) e Campbell e Ohrt (2009).

Considerando a importância dos trabalhos de Budowski (1965) e Kageyama e Gandara (2000), Kageyama et al. (1990, 2002, 2008) no estudo da biodiversidade, dos grupos ecológicos e da restauração de florestas tropicais, bem como a consonância destes com os estudos de Roncon (2011) e Roncon et al. (2012), que emprega a **AEm** para avaliar a sucessão natural secundária e valorar os bens e serviços ambientais em áreas de Mata Atlântica, julga-se pertinente agregar

aos estudos ecológicos da restauração florestal no Estado de São Paulo a **AEm** propostas por Odum (1996, 2000), Odum e Odum (2000a, 2000b), Odum et al. (2000), Brown e Ulgiati (2004), Brown e Campbell (2007) e Ortega (2011).

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Hipótese

Os trabalhos de restauração ecológica de áreas degradadas, desenvolvidos através do convênio de cooperação entre a Companhia de Energia do Estado de São Paulo (CESP) e a ESALQ/USP por intermédio do Instituto de Estudos e Pesquisas Florestais (IPEF), contribuem para a restauração dos bens e serviços ecossistêmicos no Pontal do Paranapanema-SP.

2.2 Objetivo geral

Este estudo objetivou desenvolver a avaliação emergética do processo de restauração ecológica em áreas do Pontal do Paranapanema-SP.

2.3 Objetivos específicos

- Desenvolver um modelo de avaliação emergética para projetos de restauração ecológica;
- Realizar a avaliação emergética de áreas em processo de restauração ecológica, em cronosequência;
- Valorar a restauração dos bens e dos serviços ecossistêmicos no Pontal do Paranapanema.

3 MÉTODOS

3.1 Região de estudo

As áreas de estudo estão localizadas na região do Pontal do Paranapanema, extremo oeste do Estado de São Paulo, fazendo divisa com os Estados do Paraná e Mato Grosso, entre a latitude 22° 15' e 23° 00'S e longitude 51° 30' e 53° 00'W, às margens do Rio Paranapanema e do Rio Paraná, que compõem a bacia do Rio Paraná, em virtude da presença de áreas em processo de restauração ecológica, que variam de 1,5 a 26 anos de idade.

O solo da região é constituído a partir das formações do grupo Bauru, que possui como principais características a elevada concentração de areias, fertilidade natural baixa, boa permeabilidade e drenagem excessiva (ITESP, 1998), apresentam predominância de Latossolo Vermelho (LV) e Nitossolo Vermelho (NV), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, proposto pela EMBRAPA em 1999 (IBGE, 2004; EMBRAPA, 1999).

A formação vegetal da região pertence ao domínio do bioma Mata Atlântica, predominando originalmente a Floresta Estacional Semidecidual, em que 20 a 50% das árvores perdem as folhas no período seco do ano, com algumas manchas de Cerrado (IBGE, 2004). A região apresenta alguns fragmentos significativos, como o Parque Estadual do Morro do Diabo que mantém uma amostra representativa da flora e da fauna original (ITESP, 1998), com área de 35.000 hectares.

Segundo o IBGE (2004), o clima da região é quente-úmido com três meses secos e subquente-úmido com três meses secos; e segundo a Classificação de Koppen: Aw e Cwa, tropical de altitude com inverno seco e verão quente e chuvoso, com temperaturas médias de 17° C no inverno e 25° C no verão, atingindo o máximo de 38° C (ITESP, 1998). A topografia varia de plana a ondulada, com altitude média de 300m (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1978).

3.2 Data E Coleta De Dados Primários

Foram realizadas quatro expedições de campo, no Pontal do Paranapanema, para coletar os dados primários, durante junho de 2013 a junho de 2014. Para todos os efeitos analíticos é considerada a “janela do ano de 2013” para datar as áreas em processo de restauração ecológica.

3.3 Escolha Das Áreas

A escolha das áreas (Tabela 1) objetivou representar 26 anos de restauração ecológica com mesmo modo de implantação (alta diversidade), com espécies pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climáticas intercaladas na mesma linha de plantio. O espaçamento usual do plantio é de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas.

Foram definidas 6 áreas em processo de restauração ecológica, com 1,5 anos, 5 anos, 8 anos, 14 anos, 20 anos e 26 anos de implantação, buscando a melhor representatividade da dinâmica ecológica do processo de restauração. As áreas estão localizadas no entorno dos reservatórios do complexo hidroelétrico do Pontal do Paranapanema.

Para fins comparativos e analíticos, optou-se por avaliar áreas controle para cada área em processo de restauração. As áreas controle foram selecionadas por três critérios: proximidade das áreas em processo de restauração, ausência e/ou com o mínimo de manejo agrícola e presença de capim do gênero *Brachiária*. Foi escolhido como uma referência de floresta natural para região, o Parque Estadual do Morro do Diabo, localizado no Município de Teodoro Sampaio/SP, o maior remanescentes de floresta natural da região. As áreas controle possibilitaram a elaboração de uma linha de base para a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 1 - Áreas em processo de restauração ecológica e áreas controle na região do Pontal do Paranapanema-SP

Característica da área	Sigla da área	Coordenadas UTM	Município/Estado	Ano de Plantio	Ano da coleta de dados	Idade da área (anos)
Restauração florestal	RF1,5A	22 K 393987.79 m E 7599401.82 m S	Presidente Epitácio/SP	jun/12		1,5
Restauração florestal	RF5A	22 K 393670.04 m E 7599740.86 m S	Presidente Epitácio/SP	2008		5
Pastagem - controle	C1,5/5A	22 K 393837.41 m E 7599695.00 m S	Presidente Epitácio/SP			
Restauração florestal	RF8A	22 K 394373.44 m E 7598428.60 m S	Presidente Epitácio/SP	2005		8
Pastagem - controle	C8A	22 K 394532.63 m E 7598511.13 m S	Presidente Epitácio/SP			
Restauração florestal	RF14A	22 K 392695.02 m E 7597161.21 m S	Presidente Epitácio/SP	1999		14
Pastagem - controle	C14A	22 K 392677.46 m E 7596819.38 m S	Presidente Epitácio/SP		06/2013 a 06/2014	
Restauração florestal	RF20A	22 K 397359.23 m E 7505100.84 m S	Itaguajé/PR	1993		20
Pastagem - controle	C20A	22 K 398156.51 m E 7503538.31 m S	Itaguajé/PR			
Restauração florestal	RF25A	22 K 310754.07 m E 7501030.11 m S	Primavera/SP	1987		26
Pastagem - controle	C26A	22 K 311161.58 m E 7501014.50 m S	Primavera/SP			
Floresta primária	FN	22 K 365716.80 m E 7499364.08 m S	Teodoro Sampaio/SP			
Pastagem - controle	CFN	22 K 375227.66 m E 7505848.59 m S	Teodoro Sampaio/SP			

3.4 Caracterização Das Áreas

A RF1,5A (Figura 1) está localizada em Presidente Epitácio/SP, na Reserva Florestal do Córrego do Veado (RFCV), pertencente ao condomínio de reservas legais de assentamentos de reforma agrária na região. O plantio desta área foi financiado pela CART, uma empresa Invepar Rodovias, que administra o Corredor Raposo Tavares, em cumprimento das demanda das Legislações Ambientais e Órgãos Licenciadores, e executado pela ONG Apoena – Associação em Defesa do rio Paraná, Afluentes e Mata Ciliar que tem como missão a defesa dos valores da natureza e da biodiversidade, a instituição de unidades de conservação e corredores ecológicos, a restauração da floresta e a melhoria da forma de vidas nas comunidades.

Figura 1 - Disposição das áreas em processo de restauração próximas a Presidente Epitácio/SP e do Rio Paraná. Legenda: **RF1,5A** - área em processo de restauração com 1,5 anos; **C1,5/5A** - área controle das áreas com 1,5 e 5 anos em processo de restauração; **RF5A** - área em processo de restauração com 5 anos; **RF8A** - área em processo de restauração com 8 anos; **C8A** - área controle da área em processo de restauração com 8 anos; **RF14A** - área em processo de restauração com 14 anos; **C14A** - área controle da área em processo de restauração com 14 anos. Imagem capturada do GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: <[Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com)>. Acesso em: 8 jun. 2015.

A C1,5/5A compreende uma pastagem abandonada (*Brachiaria sp.*), que está localizada dentro da RFCV e entre as RF1,5A e RF5A áreas de restauração (Figura 1). As áreas com 5, 8 14, 20 e 26 anos foram financiadas e executadas pela Companhia Energética do Estado de São Paulo (CESP), em cumprimento das demandas da Legislação Ambiental e Órgãos Licenciadores.

Na época de implantação da RF26A houve apoio da ESALQ/USP, mediante um convênio de cooperação com a CESP mediado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), que teve como objetivo desenvolver pesquisas na área do conhecimento de restauração ecológica/florestal. Este convênio permitiu o avanço dos modelos de recuperação com plantio de espécies nativas (KAGEYAMA et al., 1990). As áreas de RF5A, RF8A E C8A estão localizadas dentro da RFCV, como ilustra a Figura 1. A RF14A está localizada fora da RFCV, mas próxima a esta (Figura 1), em uma área cuja responsabilidade é da CESP e a C14A é uma área de pastagem (*Brachiaria sp.*) pertencente ao Sítio Porto

3, pastoreada por gado leiteiro e que não realiza a aplicação de adubos e corretivos.

A RF20A e RF26A (Figura 2) foram implantadas pela CESP, mas atualmente são geridas pela Duke-Energy, uma das Concessionárias Internacionais da CESP. A RF20A é a única área que se encontra localizada no Estado do Paraná, em Itaguajé/PR, na divisa com o Estado de São Paulo e justifica-se o estudo desta área por sua singularidade temporal, preenchendo a lacuna no tempo entre as áreas de 14 e 26 anos. Foi registrada a presença de equinos nesta área. A C20A é uma área de pastagem (*Brachiaria sp.*) sem manejo que está localizada em uma propriedade rural próxima a área.

Figura 2 - Disposição das áreas em processo de restauração próximas ao Rio Paranapanema. Legenda: **RF20A** - área em processo de restauração com 20 anos; **C20A** - área controle das áreas com 20 anos em processo de restauração; **RF26A** - área em processo de restauração com 26 anos; **C26A** - área controle da área em processo de restauração com 26 anos; **FN** - área de floresta natural – Parque Estadual do Morro do Diabo; **CFN** - área controle da FN. Imagem capturada do GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: <[Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com)>. Acesso em: 8 jun. 2015.

A RF26A está localizada no distrito de Primavera/SP e a C26A está localizada ao lado da área, no Assentamento Nova Pontal, lote 30, em uma área de pastagem (*Brachiária sp.*) sem manejo (Figura 2). O estudo conta com uma área com vegetação primária, no Parque Estadual do Morro do Diabo (PEMD) localizado em Teodoro Sampaio/SP (Figura 2), como referência para este estudo. A CFN é uma área com pastagem (*Brachiária sp.*) sem manejo localizada em uma

propriedade rural próxima do PEMD. As áreas de pastagem homogênea compõem uma linha de base para comparação e análise dos resultados.

3.4.1 Modelo De Impantação Das Áreas

De acordo com Kageyama et al. (1992) A disposição das mudas no plantio, das áreas da CESP, DUKE e APOENA, representam a aplicação prática dos resultados positivos das experiências realizadas pelo Convênio CESP/ESALQ-IPEF, que determinou a consorciação sistemática das mudas em campo. São utilizadas a proporção de 50% de espécies pioneiras, 25% de espécies secundárias iniciais e tardias e 25% de espécies clímax, onde cada espécie de estágio final da sucessão é circundada por 4 espécies das fases iniciais da sucessão (KAGEYAMA et al., 1992).

3.4.2 Demarcação Das Parcelas Amostrais

O método de quadrantes pode acarretar em erros nas estimativas de densidade e dominância das populações, dependendo do padrão de ocupação espacial dos indivíduos (MARTINS, 1991; DURIGAN, 2003). Portanto, a amostragem das espécies arbóreas foi realizada por meio de uma metodologia definida para este estudo, buscando representar a variação de linhas de plantio. Cada parcela foi delimitada com 600 m², contando-se cinco árvores (10m) por linha e vinte linhas (60m) por parcela, totalizando o ideal de 100 árvores em cada parcela.

Nas áreas em processo de restauração, as parcelas foram instaladas em locais escolhidos, com o mínimo de falhas, buscando representar os melhores processos de restauração em termos de cobertura florestal e acúmulo de biomassa; já na área com vegetação primária, as parcelas foram instaladas em áreas de vegetação densa com árvores emergentes, evitando o efeito de borda, clareiras, locais em regeneração e terrenos muito inclinados para efeito de comparação entre as áreas.

Para cada área florestal foram delimitadas três parcelas amostrais. Para o estudo das áreas controle, foi demarcada apenas 1 parcela de 600m², em cada área de pastagem homogênea, considerada como representativa para este fim. A Tabela 2 apresenta as coordenadas (UTM) do vértice 01 das parcelas estudadas com a visada (direção cardeal) da delimitação das parcelas. A Figura 3 ilustra as áreas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2 - Localização geográfica das parcelas - Pontal do Paranapanema-SP

Sigla da área	Parcela	Vértice	Coordenadas UTM	Visada da parcela
RF1,5A	1	1	22 K 393911.88 m E 7599420.62 m S	nordeste
	2	1	22 K 393890.61 m E 7599438.10 m S	nordeste
	3	1	22 K 393856.74 m E 7599466.19 m S	nordeste
RF5A	1	1	22 K 393626.47 m E 7599655.69 m S	noroeste
	2	1	22 K 393639.97 m E 7599679.84 m S	noroeste
	3	1	22 K 393662.95 m E 7599724.89 m S	noroeste
C1,5/5A	1	1	22 K 393712.09 m E 7599582.28 m S	nordeste
RF8A	1	1	22 K 394408.40 m E 7598479.70 m S	sudeste
	2	1	22 K 394303.12 m E 7598414.05 m S	sudeste
	3	1	22 K 394163.95 m E 7598316.89 m S	sudeste
C8A	1	1	22 K 394461.55 m E 7598493.73 m S	sudeste
RF14A	1	1	22 K 392823.47 m E 7597305.21 m S	sudoeste
	2	1	22 K 392944.25 m E 7597101.57 m S	sudoeste
	3	1	22 K 393143.13 m E 7596701.29 m S	oeste
C14A	1	1	22 K 392719.15 m E 7596884.37 m S	sudoeste
RF20A	1	1	22 K 397752.77 m E 7504586.40 m S	sudoeste
	2	1	22 K 397625.94 m E 7504796.11 m S	nordeste
	3	1	22 K 397075.36 m E 7505541.86 m S	nordeste
C20A	1	1	22 K 398141.83 m E 7503455.81 m S	norte
RF25A	1	1	22 K 310749.00 m E 7500906.02 m S	sudoeste
	2	1	22 K 310728.73 m E 7500918.33 m S	sudoeste
	3	1	22 K 310692.26 m E 7500940.42 m S	sudoeste
C26A	1	1	22 K 311168.54 m E 7500949.24 m S	norte
FN	1	1	22 K 366209.86 m E 7499647.44 m S	norte
	2	1	22 K 365254.10 m E 7499288.29 m S	noroeste
	3	1	22 K 365162.47 m E 7499071.60 m S	sudoeste
CFN	1	1	22 K 375118.30 m E 7506010.27 m S	sudeste

Figura 3 - Áreas de estudo em processo de restauração, áreas controle e floresta natural (continua)

Figura 3 - Áreas de estudo em processo de restauração, áreas controle e floresta natural (conclusão)

3.5 Coleta de dados primários

3.5.1 Espécimes arbóreos

Nas áreas em processo de restauração foram identificados e mensurados todos os espécimes arbóreos plantados, independente da sua altura e diâmetro. Na floresta natural foram identificados e mensurados todos os espécimes arbóreos com CAP igual ou superior a 10 centímetros. A identificação do “gênero e da espécie” foi realizada em campo, sempre que possível, ao analisar a morfologia

dos ramos, em fase vegetativa e reprodutiva, frutos, sementes e aroma. Dos espécimes não classificados em campo, foram coletadas amostras para identificação junto dos especialistas do Herbário da ESALQ/USP. A bibliografia utilizada para identificação dos espécimes foi o Guia de Ramos et al. (2008) e os Livros de Carvalho (2003) e Lorenzi (1992 e 2002).

A mensuração dos espécimes foi realizada com a tomada de medidas da Circunferência na Altura do Peito (CAP – 1,3 m) com fita métrica e Altura Total (ht) com o equipamento de medição hipsômetro, com receptor (transponder) de ultrassom.

3.5.2 Deposição e fertilidade da serapilheira

Para realizar a coleta de serapilheira foram construídos coletores com tubos e adaptadores do tipo “T” e “curva de 90°” de PVC de ½ polegada (Figura 4).

Figura 4 - Coletor de serapilheira instalado na RF5A

Os coletores foram construídos com uma superfície de coleta de 0,25 m² (0,5 m x 0,5 m), com malha de nylon (2 mm) costurada com linha de nylon, formando um bolsão de coleta de 0,25 m de profundidade. Os quatro “pés” do coletor medem 0,6 m e foram enterrados 0,1 m para fixação no solo, assim instalados a 0,5 m de altura do solo.

Os coletores foram distribuídos nas seis área em processo de restauração e na área de floresta natural, 3 coletores por parcela totalizando 63 coletores, alocados a cada 20 m da parcela. A coleta de serapilheira depositada foi realizada a cada trimestre, durante o período de um ano (Figura 05a). As amostras coletadas foram embaladas em saco de papel ou plástico, dependendo da característica do material (úmido ou seco), etiquetadas e encaminhadas ao Laboratório de Biologia Reprodutiva e Genética de Espécies Arbóreas (LARGEA) da ESALQ/USP para aferição de peso úmido e seco. O material foi acondicionado em sacos de papel e seco em estufa (Figura 05b) a 50°C +/- 5°C por 48 horas.

Figura 5 - Serapilheira depositada (5a) e Amostras de serapilheira na estufa de secagem (5b)

Após a secagem e aferição do peso das amostras, o material foi encaminhado para o Laboratório de Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade federal de São Carlos - CCA/UFSCar, onde foi triturado e analisado, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

3.5.3 Fertilidade e física do solo

As amostras utilizadas para realizar a análise das características físicas e da fertilidade do solo foram coletadas uma única vez, em junho de 2013, e foram

encaminhadas para os Laboratórios de Física e Fertilidade do solo do CCA/UFSCar, para realização das análises laboratoriais.

As parcelas foram amostradas em quatro profundidades (0-5 cm; 5-20 cm; 20-40 cm e 40-60 cm), utilizando de 15 a 20 sub-amostras para compor uma amostra composta de cada perfil do solo. As amostras foram coletadas com auxílio de uma sonda e marreta (Figura 06), foram acondicionadas e identificadas nos sacos plásticos e encaminhadas para o laboratório.

Para cada amostra analisou-se, de acordo com a EMBRAPA (1997), o valores do pH, SB, CTC, V% e matéria orgânica (M.O.), além dos teores solúveis de N, P, K, Ca, Mg, S, Al, Na, B, Cu, Fe, Mn, Zn.

Figura 6 - Sonda para coleta de amostras de solo (06a) – foto tirada durante a coleta na FN - Saco para identificação das amostras (06b) – foto tirada durante a coleta na RF14A-Parcela 01

Para realizar a coleta de amostras de solo para realizar as análises de física do solo, e a fim de evitar a abertura de trincheiras, foi utilizado um anel volumétrico (50cm³) para coletar de 3 amostras deformadas da camada superficial do solo em cada parcela (Figura 7). A retirada dos anéis foi realizada com auxílio de uma “colher de pedreiro”, normalmente utilizada para misturar massa em obras civis.

A caracterização física das amostras de solo foi realizada conforme métodos da EMBRAPA (1997). Foram realizadas análises granulométricas, quantidades de areia, silte e argila e de densidade do solo e da partícula para cálculo da porosidade do solo.

Figura 7 - Anel volumétrico para coleta de amostras deformadas sobre o solo das áreas de estudo (continua)

Figura 7 - Anel volumétrico para coleta de amostras deformadas sobre o solo das áreas de estudo (conclusão)

3.5.4 Regeneração De Espécimes Arbóreos

O levantamento dos espécimes arbóreos regenerantes foi realizado em campo, com a montagem de três sub-parcelas dentro das parcelas já demarcadas. As sub-parcelas (Figura 8) foram delimitadas com 3 m x 2 m (6 m²) e os espécimes arbóreos regenerantes, independente da altura e diâmetro, foram identificados por morfoespécie.

Figura 8 - Sub-parcela delimitada na FN para identificação das morfoespécies regenerantes

4 Análise Dos Resultados

4.1 Dados Primários

Os dados numéricos foram analisados pela Estatística Descritiva de acordo com Gomes (2000), com objetivo de representar a amostragem dos dados e identificar tendências. Os cálculos foram realizados em planilhas do Software Excel 2010 e do Software Origin Versão 8.5.1.

Para estimar a biomassa e carbono foram empregadas equações alométricas aceitas pelo IPCC (2003 e 2006): (1) biomassa acima do solo pela eq. (1) proposta por Brown et al. (1989); (2) biomassa abaixo do solo pela eq. (2) proposta por Cairns et al. (1997) e (3) carbono estocado na biomassa foi estimado pelo fator 0,47 para espécies arbóreas e 0,37 para serapilheira.

$$Ya = 34,4703 - 8,0671*(D) + 0,6589*(D^2) \quad (1)$$

$$Ys = \exp(-1,0587 + 0,8836 * \ln(Ya)) \quad (2)$$

As espécies identificadas foram agrupadas por Classe sucessional, Categoria de ameaça de extinção e Síndrome de dispersão, de acordo com a Listagem das espécies arbóreas do Estado de São Paulo, publicada pelo Instituto de Botânica de São Paulo (SÃO PAULO, 2014).

4.2 Avaliação Emergética (Aem)

Os dados referentes às composições químicas, físicas, biológicas e investimentos monetários nas áreas de estudo foram convertidos, através das transformidades, em termos de Joules equivalentes de energia solar (seJ) por unidade de recurso (J, kg, \$, espécie). A AEm aborda o estudo da evolução das propriedades físicas, químicas e biológicas das áreas de estudo com relação a produção de bens e serviços ambientais, de acordo com os procedimentos metodológicos descritos por Odum (1996, 2000), Tilley (1999), Odum e Odum (2000a, 2000b), Odum et al. (2000), Cohen (2003), Brown e Ulgiati (2004), Brown e Campbell (2007), Ortega (2010, 2011) e Roncon (2011).

4.2.1 Diagramação

Diagramas sistêmicos (ex. Figura 1a e 1b) foram elaborados com os símbolos da linguagem de sistemas (ODUM, 1996), utilizando o software Microsoft Office Visio 2003, para colocar em perspectiva o sistema de interesse, integrar informações, organizar a coleta e o processamento de dados, além de ilustrar os resultados gerados.

4.2.2 Tabelas De Avaliação Emergética

A avaliação é conduzida pela elaboração de uma Tabela de AEm (Tabela 03) com os seguintes componentes: A coluna (1) contém o número respectivo a cada item, para servir de referência no detalhamento posterior dos cálculos; - A coluna (2) é o nome do item, que também está mostrado no diagrama sistêmico; - A coluna (3) se refere a fração renovável/não renovável dos itens; - A coluna (4) se indica o valor dos dados quantitativos das entradas dos dados coletados, em campo ou na bibliografia, em joules, gramas, dólares ou outras unidades; - A coluna (5) indica a unidade de medida referente à coluna anterior; - A coluna (6) apresenta as transformidades, Emergia por unidade, expressa em energia solar por unidade, que pode ser joules, gramas, dólares ou outras unidades; - A coluna (7) e (8) apresentam a emergia renovável e não renovável, respectivamente, que entram no sistema. É calculada através da multiplicação da fração da coluna (3) pelo valor coluna (4) e transformidade da coluna (6); - A coluna (9) e (10) apresentam os resultados em valores econômicos equivalentes, dado em Em-dólares para cada item.

Tabela 3 - Avaliação Emergética dos ambientes de estudo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R	NR	R	NR

4.2.3 Modelagem Ecosistêmica

A Modelagem Ecosistêmica foi desenvolvida de acordo com os procedimentos metodológicos descritos por Odum (1996, 2000), Tilley (1999), Odum e Odum (2000a, 2000b), Odum et al. (2000), Cohen (2003), Brown e Ulgiati (2004), Brown e Campbell (2007) e Ortega (2010, 2011). A Figura 9 ilustra as legendas e características dos fluxos Emergéticos empregados na modelagem e para o cálculo

dos Índices Emergéticos modificados por Ortega (2010). Foi simulado o ano 01 e ano 02 a fim de contabilizar o total das atividades de restauração.

Figura 9 - Diagrama com legendas e característica para cálculo dos índices emergéticos (ORTEGA, 2010)

4.2.4 Entradas Do Modelo

4.2.4.1 Recursos Da Natureza Renováveis (R)

De acordo com a localização de cada área de estudo foram calculados dados como: (1) Sol - a energia solar e albedo foram obtidos no site da NASA (2012) e modelados em função da cobertura florestal de acordo com Roncon (2011) e Albuquerque (2012); (2) Chuva - pluviosidade média referente aos últimos 25 anos (INMET, 2012); (3) Vento - a velocidade sazonal do vento, média dos últimos 25 anos da região, foi obtida junto ao Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESEB, 2012); (4) Soerguimento Geológico - valor obtido na literatura (ODUM, 2000); (5) Carbono (C) – a quantidade de C que entra equivale à soma dos estoques de CO₂ equivalente medidos em cada área (C total = C da biomassa verde total das árvores + C da serapilheira + C da MO do solo); (6) Nitrogênio (N₂) – a entrada de N₂ é estimada a partir do estoque de N₂ fixado no solo, calculados pela equação de Raij (1991). Outros indicadores foram elencados de acordo com os dados da literatura e trabalhos de campo.

4.2.4.2 Recursos Da Natureza Não Renováveis (N)

De acordo com Ortega (2010) as intervenções no solo acarretam em uma perda de solo (1 - Solo erodido). Esta perda foi considerada como um investimento da natureza para o desenvolvimento das atividades escolhidas.

4.2.4.3 Recursos Da Economia (F)

A implantação e manutenção das áreas em processo de restauração ecológica requerem materiais e serviços obtidos na economia. Estes recursos foram contabilizados em pesquisas bibliográficas, comerciais e em trabalhos de campo.

4.2.4.4 Porção Renovável Dos Materiais (M_r)

As informações sobre a porção renovável dos materiais utilizados em projetos de restauração foram obtidas na literatura, sites comerciais e em trabalhos de campo.

4.2.4.5 Porção Não Renovável Dos Materiais (M_n)

A porção não renovável dos materiais é produzida, principalmente, a partir do petróleo: (1) nitrogênio, (2) fósforo, (3) potássio, (4) agrotóxico (controle de formigas) e (6) combustível, estes dados foram obtidos nos registros da CESP, complementados com dados da literatura.

4.2.4.6 Porção Renovável Dos Serviços (S_r)

A (1) mão-de-obra local, regional e fora da região pode ser mensurada em horas de trabalho por dia, e a distância no deslocamento deste serviço pode indicar a fração renovável desta variável. Estes dados foram obtidos em trabalhos de campo e pesquisas bibliográficas.

4.2.4.7 Porção Não Renovável Dos Serviços (S_n)

Taxas (1) e impostos (3) podem ser considerados como uma porção não renovável destes serviços. Estes dados foram obtidos nos trabalhos de campo e na literatura.

4.2.5 Saídas Do Modelo

4.2.5.1 Produtos Do Sistema (P)

Este fluxo de saída foi caracterizado de acordo com os características físicas e biológicas de cada área. Foram analisadas as diferenças mássica, energética e emergética, em relação às áreas controle e referência, na saída dos diferentes fluxos:

- (1) controle da erosão – dados estimados neste estudo podem indicar a quantidade e qualidade de fluxo, que acarretará em um benefício ou prejuízo para o sistema que recebe o fluxo;
- (2) melhoria da qualidade do solo – dados calculados neste estudo podem indicar melhoras na fertilidade e estrutura física do solo;
- (3) fluxos hidrológicos - devido as dificuldades metodológicas para calcular o balanço de água nas áreas de estudo, os fluxos de saída de água (percolação e escoamento superficial e evapotranspiração) foram modelados para este estudo, de acordo com os trabalhos de Fujieda et al. (1997), Buenfil (2001) e Roncon (2011) com auxílio do software Origin 8.5.1;
- (4) riqueza – dados obtidos neste estudo pelo levantamento da riqueza dos espécimes arbóreos e regenerantes, pois eles podem indicar a capacidade de fornecimento e recebimento de propágulos e sementes nos sistemas;
- (5) aumento da fixação de CH₄ e CO₂ – estimativa que indicará a o serviço de fixação de gases de efeito estufa pelo sistema. Outras saídas e produtos foram elencados de acordo com o desenvolvimento do modelo matemático.

4.2.5.2 Energia Do Sistema (Y)

Este fluxo foi caracterizado pela relação Energia (seJ)/unidade dos produtos (P); estes valores foram obtidos no resultado da AEm.

4.2.5.3 Energia Dos Produtos Do Sistema (E)

Este fluxo foi caracterizado pela relação Energia J ou kg/unidade dos produtos (P); estes valores foram obtidos no resultado da AEm.

4.2.6 Índices Emergéticos

Os Índices Emergéticos, descritos abaixo, foram calculados de acordo com Odum (1996), Brown e Ulgiati (2004) e Ortega (2010), a partir dos resultados encontrados nas tabelas de AEm.

$$1. \text{ Energia total (Y)} = I + F \quad (3)$$

Onde Y é a somatória das Energias que entram nas áreas de estudo.

$$2. \text{ Transformidade (Tr)} = Y/E \quad (4)$$

A Transformidade (Tr) avalia a eficiência do sistema estudado, pois é resultado da divisão da Energia total (Y) pela energia produzida (E).

$$3. \text{ Renovabilidade Emergética (\%R)} = ((R+MR+SR)/Y) \times 100 \quad (5)$$

Renovabilidade (%R) ou grau de sustentabilidade é a porcentagem da Energia renovável utilizada pelo sistema.

$$4. \text{ Índice de investimento Emergético (EIR)} = F_N/(I+F_R) \quad (6)$$

Avalia se o sistema utiliza a Energia investida de maneira eficiente, quando comparado a alternativas que utilizam os mesmos recursos.

$$5. \text{ Índice de rendimento Emergético (EYR)} = Y/F \quad (7)$$

O valor obtido é uma medida da habilidade do sistema em explorar e tornar disponíveis (na forma de produtos) recursos locais através do investimento em recursos externos.

$$6. \text{ Índice de carga ambiental (ELR)} = (F_N+N)/(R+FR) \quad (8)$$

É um indicador da pressão que o sistema exerce sobre o meio ambiente e pode ser considerado como uma medida do stress do ecossistema.

$$7. \text{ Índice de Sustentabilidade Emergética (ESI)} = R/(N+F_N) \quad (9)$$

Indica a contribuição potencial de um recurso para a economia pela carga ambiental.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade E Riqueza

No conjunto das áreas estudadas, foram amostrados 1.423 indivíduos, distribuídos em 83 espécies nativas e 1 espécie exótica (Tabela 4), das quais 14 espécies nativas são exclusivas da área de floresta natural, incluindo a exótica.

A FN apresentou uma riqueza média de 18,7 espécies, já nas áreas em processo de restauração, a riqueza variou da 15,7 espécies na RF20A até o máximo de 24,7 espécies para a RF1,5A.

O levantamento da regeneração evidenciou a presença de 27 morfoespécies na FN, a mais alta das áreas estudadas. As áreas em processo de restauração apresentam uma tendência de aumento das morfoespécies regenerantes, partindo de 0, 2, 5, 11, 12, 21 nas áreas RF1,5A, RF5A, RF8A, RF14A, RF20A e RF26A, respectivamente.

Tabela 4 - Levantamento de espécies arbóreas nas áreas de estudo (Pontal do Paranapanema-SP)

N	NOME POPULAR	FAMÍLIA / ESPÉCIE	Classe sucessional**	Categoria de ameaça de extinção**	Síndrome de dispersão**
1	abiu	<i>Pouteria torta</i> Radlk.	NP		ZOO
2	açoita cavalo graúdo	<i>Luehea grandiflora</i> Mart. Zucc.	NP		ANE
3	açoita cavalo miúdo	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	NP		ANE
4	alecrim	<i>Holocalyx balansae</i> Micheli	NP		AUTO
5	amendoim	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	NP		ANE
6	amendoim do campo	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	NP		ANE
7	angico branco	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan var. <i>colubrina</i> , Kew Bull.	NP		AUTO
8	angico cascudo	<i>Anadenanthera peregrina</i> var. <i>falcata</i> (Benth.) Altschul	NP		AUTO
9	angico vermelho	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Velloso) Brenan var. <i>cebil</i> (Griseb.)	NP		AUTO
10	araticum	<i>Annona cacans</i> Warm.	P		ZOO
11	arco de peneira	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	NP		ZOO
12	aroeira pimenteira	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	P		ZOO
13	aroeira verdadeira	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	NP	VU	AUTO
14	bacupari	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planchon & Triana)	NP		ZOO
15	cabreúva	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	NP	VU	ANE
16	café de bugre	<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	NP	QA	ZOO
17	canafistula	<i>Peltophorum dubium</i> Spreng.	P	QA	AUTO
18	candeia	<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	P		ANE
19	canela amarela	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart.	P		ZOO
20	canela de cheiro	<i>Ocotea</i> sp.	NP*		ZOO*
21	canelão	<i>Ocotea velutina</i> (Nees) Rohwer	NP		ZOO
22	canelinha	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	NP		ZOO
23	canjarana	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	NP		ZOO
24	capixingui	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	P		AUTO
25	carimã	<i>Sparattosperma leucanthum</i> Vell.	P		ANE
26	carrapateiro	<i>Metrodorea nigra</i> A.St.-Hil.	NP		AUTO
27	carvãozinho	VOCHYSIACEAE	NP*		ANE*
28	cedro rosa	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	NP	QA	ANE
29	corrieira	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	P		ANE
30	embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.	P		ZOO
31	embira de sapo	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	NP		AUTO
32	espeteiro	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.	P		ZOO
33	esponjinha	<i>Calliandra foliolosa</i> Benth.	P		AUT
34	farinha seca	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	P		AUT
35	feijão cru	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) Tozzi & H.C.Lima	NP		AUT
36	figueira branca	<i>Ficus guaranítica</i> Chodat.	NP		ZOO
37	fruta de jacú	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil.) Hadlk.	P		ZOO
38	gabirola	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O.Berg	NP		ZOO
39	garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	NP	EN	AUTO
40	genipapo	<i>Genipa americana</i> L.	NP		ZOO
41	goiaba	<i>Psidium guajava</i> L.	NP*		ZOO*
42	grão de galo	<i>Celtis fluminensis</i> Carauta	NP		ZOO
43	guajuvira	<i>Patagonula americana</i> L.	NP		ANE
44	guarita	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	NP		ANE
45	guatambu	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler) Engl.	NP		ZOO
46	ingá açú	<i>Inga vera</i> Willd.	P		ZOO
47	ingá miúdo	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	NP		ZOO
48	ingá de folha lisa	<i>Inga marginata</i> Willd.	NP		ZOO
49	ipê amarelo	<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. Ex DC.) Standl.	NP		ANE
50	ipê branco	<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridley) Sandwith	NP		ANE
51	ipê roxo	<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Toledo	NP		ANE
52	ipê tabaco	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau	NP		ANE
53	jacarandá bico de pato	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	NP		ANE
54	jacarandá caroba	<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	P		ANE
55	jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	NP	QA	ZOO
56	jequitibá branco	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi)	NP	QA	ANE
57	leiteiro	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	P		ZOO
58	louro pardo	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. Ex Steud.	NP		ANE
59	mamoninha	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	P		AUT
60	mandiocão	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Manguire, Steyerem. & Frodin	P		ZOO
61	marinheiro	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	NP	QA	ZOO
62	mimosa	<i>Mimosa</i> sp.	P		AUT
63	monjoleiro	<i>Acacia polyphylla</i> DC.	P		AUT
64	mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	P		ZOO
65	óleo de copaiba	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	NP	QA	ZOO
66	paineira	<i>Chorisia speciosa</i> A. St.-Hil.	NP		ANE
67	pata de vaca	<i>Bauhinia forficata</i> Link	P		AUTO
68	pau d'alho	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	NP		ANE
69	pau formiga	<i>Triplaris brasiliensis</i> Cham.	P*		ANE*
70	pau marfim	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	NP	QA	ANE
71	peito de pomba	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	NP		ZOO
72	peroba poca	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll. Arg.	NP		ANE
73	peroba rosa	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg.	NP	QA	ANE
74	pindaíba	<i>Duguetia lanceolata</i> A.St.-Hil.	NP		ZOO
75	pitanga	<i>Eugenia</i> sp.	NP		ZOO
76	piúna	<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman	NP		ZOO
77	roxinho	<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	NP		AUT
78	sangra d'água	<i>Croton urucurana</i> Baill.	P		AUT
79	sapuva	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	NP		ANE
80	solanum	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	P*		ZOO*
81	taiuva	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	NP		ZOO
82	tamburil	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	P		AUT
83	trema	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume.	P		ZOO
84	laranja da terra	<i>Citrus</i> sp.	***	***	ZOO***

*Classificação de acordo com o gênero; **São Paulo (2014); ***Exótica.

A Tabela 5 apresenta os resultados estatísticos da densidade (N) e as proporções dos grupos ecológicos entre as 3 parcelas amostradas em cada área de estudo. Os resultados evidenciam que os dados são homogêneos, portanto a amostragem é representativa, visto o baixo coeficiente de variação (CV) entre as parcelas (< 20%), exceto para RF20A.

Tabela 5 - Estatística descritiva da densidade de espécimes arbóreos das áreas de estudo

Densidade	Unidade	RF1,5A	C1,5A	RF5A	C5A	RF8A	C8A	RF14A	C14A	RF20A	C20A	RF26A	C26A	FN	CFN
Densidade média	ind./600m ²	78,0	0,0	83,3	0,0	55,7	0,0	62,3	0,0	54,7	0,0	77,0	0,0	63,3	0,0
CV da amostragem	%	5,1	0,0	4,2	0,0	5,5	0,0	10,3	0,0	35,5	0,0	17,5	0,0	7,8	0,0
Densidade observada	ind./1.800m ²	234,0	0,0	250,0	0,0	167,0	0,0	187,0	0,0	164,0	0,0	231,0	0,0	190,0	0,0
Densidade média	ind./ha	1.300,0	0,0	1.388,9	0,0	927,8	0,0	1.038,9	0,0	911,1	0,0	1.283,3	0,0	1.055,6	0,0
Proporção observada	%P/1.800m ²	67,1	0,0	87,6	0,0	72,5	0,0	66,3	0,0	25,6	0,0	17,7	0,0	5,3	0,0
CLASSE SUSSECCIONAL	%NP/1.800m ²	32,9	0,0	12,4	0,0	27,5	0,0	33,7	0,0	74,4	0,0	82,3	0,0	94,7	0,0
Proporção observada	%AUT/1.800m ²	35,5	0,0	32,0	0,0	32,3	0,0	34,2	0,0	58,5	0,0	46,3	0,0	46,3	0,0
DISPERSÃO	%ZOO/1.800m ²	50,0	0,0	64,0	0,0	58,7	0,0	58,8	0,0	12,8	0,0	27,3	0,0	43,7	0,0
	%ANE/1.800m ²	14,5	0,0	4,0	0,0	9,0	0,0	7,0	0,0	28,7	0,0	26,4	0,0	10,0	0,0
Proporção observada	%/1.800m ²	7,7	0,0	7,6	0,0	13,2	0,0	16,6	0,0	11,0	0,0	16,0	0,0	4,2	0,0
AMEAÇA DE EXTINÇÃO															

A Tabela 6 apresenta os resultados estatísticos da riqueza (sp.) de espécimes arbóreos. Os resultados evidenciam que os dados são homogêneos, portanto a amostragem é representativa, visto o baixo coeficiente de variação (CV) entre as parcelas (< 20%), exceto para RF20A.

Tabela 6 - Estatística descritiva da riqueza dos espécimes arbóreos das áreas de estudo

Riqueza	Unidade	RF1,5A	C1,5A	RF5A	C5A	RF8A	C8A	RF14A	C14A	RF20A	C20A	RF26A	C26A	FN	CFN
Riqueza média	sp/600m ²	24,7	0,0	16,3	0,0	20,3	0,0	16,3	0,0	15,7	0,0	23,7	0,0	18,7	0,0
CV da amostragem	%	2,3	0,0	7,1	0,0	15,0	0,0	14,1	0,0	25,8	0,0	10,6	0,0	6,2	0,0
Riqueza observada	sp/600m ²	25,0	0,0	17,0	0,0	21,0	0,0	15,0	0,0	20,0	0,0	24,0	0,0	18,0	0,0
	sp/1.200m ²	31,0	0,0	20,0	0,0	31,0	0,0	24,0	0,0	23,0	0,0	35,0	0,0	26,0	0,0
	sp/1.800m ²	34,0	0,0	24,0	0,0	33,0	0,0	28,0	0,0	26,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
Proporção observada	%P/1.800m ²	50,0	0,0	58,3	0,0	42,4	0,0	53,6	0,0	30,8	0,0	32,4	0,0	21,9	0,0
CLASSE SUSSECCIONAL	%NP/1.800m ²	50,0	0,0	41,7	0,0	57,6	0,0	46,4	0,0	69,2	0,0	67,6	0,0	78,1	0,0
Proporção observada	%AUT/1.800m ²	29,4	0,0	41,7	0,0	27,3	0,0	32,1	0,0	30,8	0,0	21,6	0,0	25,0	0,0
DISPERSÃO	%ZOO/1.800m ²	44,1	0,0	41,7	0,0	45,5	0,0	21,4	0,0	26,9	0,0	45,9	0,0	53,1	0,0
	%ANE/1.800m ²	26,5	0,0	16,7	0,0	27,3	0,0	46,4	0,0	42,3	0,0	32,4	0,0	21,9	0,0
Proporção observada	%/1.800m ²	11,8	0,0	8,3	0,0	15,2	0,0	7,1	0,0	19,2	0,0	16,2	0,0	12,5	0,0
AMEAÇA DE EXTINÇÃO															

Em todas as áreas existe uma tendência no aumento do número de espécies amostradas em função do aumento da área amostrada. As proporções observadas no total da área amostrada (1.800 m²) evidenciam que a RF1,5A, a mais recente área implantada, atende as proporções de espécimes por classe sucessional, síndrome de dispersão e quanto a categoria de ameaça de extinção, de acordo com as instruções da SMA 32/2014.

Porém quando observamos a densidade de indivíduos por classe sucessional, as áreas RF1,5A, RF5A, RF8A E RF14A, excedem os 60% de indivíduos pioneiros, onde a RF8A é composta por 87% de indivíduos pioneiros. É esperado que as proporções sofram variações em função do tempo de restauração, visto os múltiplos fatores biológicos, climáticos e antrópicos, entre outros, que podem influenciar a composição da comunidade.

A Figura 10 ilustra a dispersão da densidade média dos indivíduos por hectare (ind./ha) em função do tempo de restauração. As dispersões indicam a flutuação da densidade média das comunidades florestais que, após diminuir aos 8 anos, tendem a aumentar aos 26 anos, o que pode estar correlacionado ao recrutamento dos indivíduos regenerantes na comunidade.

Figura 10 - Dispersão do número de indivíduos por hectare em função do tempo de restauração

A Figura 11 ilustra a dispersão dos indivíduos por hectare em função do tempo, incluindo a área de floresta natural, na qual foi assumida uma idade média para grandes perturbações em florestas tropicais, devido à dinâmica das clareiras, que ocorrem entre 100 e 300 anos, de acordo com Pascal (1995).

Figura 11 - Dispersão do número de indivíduos por hectare em função do tempo

A densidade média dos espécimes regenerantes variou entre o mínimo de 0 indivíduos por hectare na RF1,5A e o máximo de foi 76.481,48 indivíduos por hectare na RF20A. Esta alta densidade é representada, na sua maioria, por espécimes da família Fabaceae (Leguminosae).

A Tabela 7 apresenta a densidade de indivíduos nas áreas amostradas em comparação com os valores intermediários de referência e utilizados para atestar a recomposição dos projetos de restauração ecológica, de acordo com a SMA 32/2014.

Tabela 7 - Densidade média de indivíduos nas áreas de estudo e valores de referência intermediários (3, 5, 10 e 15 anos) e para atestar a recomposição (20 anos) segundo a SMA 32/2014

Indicador	Densidade de ind. nativos regenerantes (ind./ha)		
	Nível de adequação	crítico	adequado
RF1,5A			
3 anos	(-)	0 a 200	acima de 200
RF5A			
5 anos	83,33	0 a 200	200 a 1.000
RF8A			
10 anos		0 a 1.000	1.000 a 2.000
RF14A			
15 anos		0 a 2.000	2.000 a 2.500
RF20A			
20 anos		0 a 3.000	(-)
26			
FN			

Diante dos limites da amostragem, para a RF1,5A não foi o suficiente para identificar algum espécime regenerante, será preciso testar um maior esforço amostral. A RF5A pode ser classificada como nível de adequação “crítico”, com a média de 83,33 ind./ha, além de apresentar uma das riquezas mais baixas das áreas estudadas (16,3 sp.). Já a RF8A ultrapassa o nível de adequação “adequado” para áreas com 10 anos, bem como a RF14A e a RF20A; a densidade média de indivíduos regenerantes da RF20A e RF26A é superior à densidade média da FN, a identificação das espécies de regenerantes.

5.2 Avaliação Emergética

Ciente da dinâmica dos ecossistemas naturais, podemos observar que as interações que ocorrem na floresta tropical tendem a otimizar a captação de recursos, a máxima eficiência na utilização da energia e a ciclagem. Já o comportamento e interação do homem com as demais espécies e com os ecossistemas, focado somente na produtividade e no lucro, tende a ser desarmônica ao ponto de drenar os recursos naturais, empregando processos de baixa eficiência na utilização da energia e esgotamento do potencial de regeneração natural do ambiente manejado.

A natureza, por meio dos seus astros e ciclos biogeoquímicos, permanece fornecendo recursos naturais (I), com frações renováveis (R) e não renováveis (N) de energia, e estas interações desarmônicas são desencadeadas pela entrada de serviços (S) e materiais (M), com frações renováveis (R) e não renováveis (N), vindos da economia (F). A energia econômica é empregada em processos produtivos imediatistas de baixa eficiência energética, que desconsideram as externalidades negativas.

Desta maneira, impacta o solo e a água, a fauna e a flora, altera a composição da comunidade, fatores que levam a perda da resiliência e o esgotamento do potencial de regeneração local, no momento em que o processo de consumo/degradação é superior ao processo de produção de base renovável. O diagrama simplificado da interação desarmônica do homem com o ambiente natural é ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Diagrama simplificado da interação desarmônica do homem com o ambiente

A visão sistêmica nos permite interpretar o processo de restauração ecológica, de um ambiente degradado, como um conjunto de investimentos planejados pelo homem, em consonância com os astros e ciclos biogeoquímicos, com objetivo de promover, em curto prazo, (1) o controle dos processos erosivos, da herbivoria excessiva e da vegetação exótica; (2) o isolamento da área contra animais exóticos; (3) a proteção contra o fogo; (4) o aporte instantâneo de nutrientes para o solo e (5) de uma comunidade arbórea nativa, cujo arranjo promova a máxima produtividade primária e a formação de uma estrutura física-arbórea que recubra e estructure o solo, e que a mesma sirva abrigo, alimento e material genético.

O investimento necessário, da economia e/ou na natureza, é proporcional ao estado de degradação da área a ser manejada e precisará de cuidados até o momento (tempo) em que estas ações sejam o suficiente para que a comunidade implantada possa se estruturar, reproduzir, possibilitar o fluxo gênico e assim estabelecer comunidades dinâmicas.

A dinâmica do ambiente onde se inicia o processo de restauração ecológica pode ser analisada como um conjunto de investimentos da natureza (I), recursos naturais renováveis (I_R) e não renováveis (I_N), potencializados por um investimento da economia (F), que fornece materiais (M) e serviços (S) com frações renováveis (R) e não renováveis (N).

Este investimento, quando planejado e bem sucedido, promove a restauração dos estoques mássicos de biomassa arbórea, matéria orgânica e nutriente no solo, além da recuperação da estrutura física do solo. A restauração de recursos naturais se deve as alterações dos fluxos de massa e de energia, promovidos pelas atividades de restauração, que tendem para máxima eficiência energética e minimização das perdas.

A comunidade, em processo de restauração, promove a entrada de mais recursos naturais renováveis e a saída de produtos e subprodutos úteis para a fauna e flora, além de contribuir para a economia das relações humanas. O diagrama simplificado do processo de restauração ecológica estudado é ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Diagrama simplificado do processo de restauração ecológica. Para este estudo, os símbolos e linhas contínuas representam os dados quantificados. Os símbolos e linhas pontilhadas não foram quantificados

5.2.1 Tabelas De Avaliação Emergética

A avaliação emergética desenvolvida foi programada em uma planilha do Software Excel 2010. A programação gerou um software com o Modelo LEIA-LARGEA 0-300 Versão 32-04-08-07, uma ferramenta desenvolvida durante e para este para estudo, mas que pode ser empregada na simulação de cenários de restauração.

O Modelo recebeu o nome LEIA-LARGEA em homenagem aos laboratórios que contribuíram integralmente para o desenvolvimento deste estudo, o Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada (LEIA) da FEA/UNICAMP e o Laboratório de Reprodução e Genética de Espécies Arbóreas (LARGEA) da ESALQ/USP.

A numeração 0-300 se refere ao marco no tempo onde se inicia os trabalhos de restauração ecológica o “ano 0” e o “ano 300” se refere ao tempo em que normalmente devem ocorrer grandes transformações na estrutura física da floresta natural, de acordo com Pascal (1995). A Versão do modelo se refere as 51 variáveis programadas no modelo, 32 fluxos de entrada calculados, 04 bens avaliados, 08 serviços avaliados e 07 índices emergéticos calculados. Todos os dados utilizados para programar o Modelo e seu detalhamento estão no Anexo 01 deste estudo.

A avaliação emergética dos investimentos e produtos dos projetos de restauração ecológica foi simulada utilizando a ferramenta LEIA-LARGEA 0-300, para todas as áreas de restauração, pelo método de plantio em área total. A avaliação do primeiro ano é apresentada na Tabela 08 e o memorial de cálculo está descrito no Anexo 01.

Tabela 8 - Avaliação emergética do processo de restauração – 1º ano

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R NR		R NR	
1	Sol	1,0 0,0	4,8E+13 J/ha		1	4,8E+13	0,0E+00	\$14,41	\$0,00
2	Chuva (química)	1,0 0,0	6,7E+10 J/ha		3,1E+04	2,0E+15	0,0E+00	\$615,01	\$0,00
3	Vento	1,0 0,0	6,2E+08 J/ha		2,5E+03	1,5E+12	0,0E+00	\$0,46	\$0,00
4	Soerguimento geológico	1,0 0,0	4,5E+10 J/ha		1,2E+04	5,4E+14	0,0E+00	\$163,32	\$0,00
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0 0,0	kg/ha		2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	4,8E+04 kg/ha		1,0E+11	5,0E+15	0,0E+00	\$1.527,77	\$0,00
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0 0,0	1,4E+01 kg/ha		4,4E+04	6,1E+05	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
8	N ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	6,0E+01 kg/ha		4,6E+12	2,8E+14	0,0E+00	\$83,36	\$0,00
9	P (sub-solo)	1,0 0,0	5,1E-02 kg/ha		1,8E+13	9,0E+11	0,0E+00	\$0,27	\$0,00
10	K (sub-solo)	1,0 0,0	5,5E-02 kg/ha		1,7E+12	9,6E+10	0,0E+00	\$0,03	\$0,00
11	Ca (sub-solo)	1,0 0,0	1,9E+00 kg/ha		2,5E+09	4,7E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
12	Mg (sub-solo)	1,0 0,0	1,6E-01 kg/ha		6,1E+09	9,8E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
13	S (sub-solo)	1,0 0,0	kg/ha		2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
14	B (sub-solo)	1,0 0,0	2,0E-03 kg/ha		2,7E+10	5,5E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
15	Cu (sub-solo)	1,0 0,0	3,7E-04 kg/ha		9,8E+10	3,6E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
16	Fe (sub-solo)	1,0 0,0	9,8E-03 kg/ha		1,2E+10	1,2E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
17	Mn (sub-solo)	1,0 0,0	1,0E-02 kg/ha		3,5E+11	3,5E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
18	Zn (sub-solo)	1,0 0,0	6,3E-04 kg/ha		7,2E+10	4,5E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
19	Água para irrigação - plantio/replanteio	1,0 0,0	1,1E+08 J/ha		2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00
N Recursos da Natureza									
20	Erosão do solo	0,0 1,0	4,0E+02 kg/ha		7,2E+11	0,0E+00	2,9E+14	\$0,00	\$87,27
21	Água - aplicação de herbicida	0,0 1,0	2,4E+07 J/ha		2,6E+05	0,0E+00	6,0E+12	\$0,00	\$1,83
M Materiais da Economia									
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	0,5 0,5	7,2E+02 US\$/ha		3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15
23	Herbicida	0,0 1,0	1,3E+01 kg/ha		1,30E+15	0,0E+00	1,6E+16	\$0,00	\$4.924,24
24	Formicida	0,0 1,0	9,0E+00 kg/ha		2,48E+13	0,0E+00	2,2E+14	\$0,00	\$67,64
25	Adubo químico	0,0 1,0	2,6E+02 kg/ha		6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27
26	Calcário	0,0 1,0	3,0E+02 kg/ha		1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73
27	Depreciação - trator	0,0 1,0	1,0E+02 US\$/ha		3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69
28	Depreciação - veículo	0,0 1,0	1,5E+02 US\$/ha		3,30E+12	0,0E+00	4,8E+14	\$0,00	\$145,36
29	Combustível	0,0 1,0	4,0E+02 kg/ha		2,76E+12	0,0E+00	1,1E+15	\$0,00	\$330,89
30	Cerca	0,4 0,6	3,2E+02 US\$/ha		3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60
S Serviços da Economia									
31	Mão de obra	0,3 0,7	5,9E+07 J/ha		2,46E+07	4,3E+14	1,0E+15	\$131,48	\$306,79
32	Mão de obra especializada	0,3 0,7	4,3E+07 J/ha		3,43E+08	4,4E+15	1,0E+16	\$1.338,37	\$3.122,85

Durante o primeiro ano de restauração os investimentos da natureza são inferiores aos da economia. A maior contribuição da natureza é o fluxo da produtividade primária líquida, que entra no sistema na forma na CO₂ vindo da atmosfera.

A segunda maior contribuição da natureza é a chuva, essencial a produtividade e manutenção de toda biosfera. Apesar de ser considerada como um investimento da natureza, a quantidade de solo erodido dependerá do manejo antrópico e/ou dos eventos climáticos extremos.

Para este estudo a porção de água, recurso da natureza, que é utilizada para a aplicação de herbicida foi considerada como um recurso não renovável, considerando que, o maior investimento deste ano é do herbicida aplicado na área, material não renovável fornecido pela economia.

A muda pode ser considerada como o mais importante investimento, devido ao seu valor genético. Para este estudo foi considerada como um

investimento de materiais da economia de acordo com seu valor de mercado. Considera-se a fração renovável de 50%, devido à falta de dados sobre este recurso. O valor genético da muda será considerado desde que a mesma se estabeleça na área.

Já o valor dos serviços é o segundo maior investimento da economia, o trabalho técnico se destaca, devido a sua importância no planejamento e condução das atividades planejadas. A Tabela 09 apresenta e a Figura 14 ilustra os dados dos fluxos de investimento agrupados por categoria.

Tabela 9 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – 1º ano

\$	Valor monetário equivalente		\$14.216,78 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos		1,20E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	\$2.502,18 EmUS\$/ha	8,3E+15 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	\$11.714,60 EmUS\$/ha	3,9E+16 seJ/ha
I_N	Energia não renovável da natureza		2,9E+14 seJ/ha
I_R	Energia renovável da natureza		8,0E+15 seJ/ha
F_N	Energia não renovável dos recursos da economia		3,2E+16 seJ/ha
F_R	Energia renovável dos recursos da economia		6,5E+15 seJ/ha
S_N	Energia não renovável dos serviços da economia		1,1E+16 seJ/ha
S_R	Energia renovável dos serviços da economia		4,9E+15 seJ/ha
M_N	Energia não renovável dos materiais da economia		2,1E+16 seJ/ha
M_R	Energia renovável dos materiais da economia		1,6E+15 seJ/ha

O emdólar representa o valor monetário equivalente (\$) obtido pela relação Emegia/dólar (EmUS\$/unid.) do País, calculada para o Brasil por Coelho et al. (2003) na proporção de 3,30E+12 seJ/US\$.

Considerando a cotação do dólar em 10/11/2015 foi de 3,7975R\$/US\$ (Banco Central do Brasil), a avaliação energética revela que a natureza é responsável por um investimento de R\$ 9.502,02, valor que até o presente era desconhecido.

Figura 14 - Percentual dos investimentos por categoria no 1º ano de restauração

Ao considerar o valor emergético dos materiais e serviços da economia, verifica-se que a mesma é responsável por um investimento de R\$44.486,21, 4,7 vezes maior que o da natureza e 3 vezes superior ao valor de mercado desta operação, que pode variar em função da logística dos projetos de restauração, de acordo com a consulta de preços feita com a empresa Consultoria Raízes (www.consultoriaraizes.com.br).

A importância da proposta metodológica de Ortega et al. (2010) é verificada quando analisamos o percentual renovável e não renovável dos investimentos, esta distinção revela que 70% dos investimentos nas atividades de restauração ecológica, do 1º ano, não são renováveis.

A Tabela 10 apresenta a avaliação emergética da área de estudo RF1,5A, considerando os investimentos realizados em 1,5 anos de atividade de restauração ecológica.

Tabela 10 - Avaliação emergética do processo de restauração – RF1,5A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R NR		R NR	
1	Sol	1,0 0,0	7,1E+13 J/ha	1	7,1E+13	0,0E+00	\$21,62	\$0,00	
2	Chuva (química)	1,0 0,0	1,0E+11 J/ha	3,1E+04	3,0E+15	0,0E+00	\$922,51	\$0,00	
3	Vento	1,0 0,0	9,2E+08 J/ha	2,5E+03	2,3E+12	0,0E+00	\$0,69	\$0,00	
4	Soerguimento geológico	1,0 0,0	6,7E+10 J/ha	1,2E+04	8,1E+14	0,0E+00	\$244,98	\$0,00	
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0 0,0	kg/ha	2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	6,7E+04 kg/ha	1,0E+11	6,9E+15	0,0E+00	\$2.105,86	\$0,00	
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0 0,0	5,6E+04 kg/ha	4,4E+04	2,4E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
8	N ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	1,4E+02 kg/ha	4,6E+12	6,3E+14	0,0E+00	\$189,44	\$0,00	
9	P (sub-solo)	1,0 0,0	7,6E-02 kg/ha	1,8E+13	1,4E+12	0,0E+00	\$0,41	\$0,00	
10	K (sub-solo)	1,0 0,0	8,2E-02 kg/ha	1,7E+12	1,4E+11	0,0E+00	\$0,04	\$0,00	
11	Ca (sub-solo)	1,0 0,0	8,6E-02 kg/ha	2,5E+09	2,2E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
12	Mg (sub-solo)	1,0 0,0	2,4E-01 kg/ha	6,1E+09	1,5E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
13	S (sub-solo)	1,0 0,0	kg/ha	2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
14	B (sub-solo)	1,0 0,0	3,1E-03 kg/ha	2,7E+10	8,2E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
15	Cu (sub-solo)	1,0 0,0	5,5E-04 kg/ha	9,8E+10	5,4E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
16	Fe (sub-solo)	1,0 0,0	1,5E-02 kg/ha	1,2E+10	1,8E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
17	Mn (sub-solo)	1,0 0,0	1,5E-02 kg/ha	3,5E+11	5,2E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
18	Zn (sub-solo)	1,0 0,0	9,4E-04 kg/ha	7,2E+10	6,8E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
19	Água para irrigação - plantio/replanteio	1,0 0,0	1,1E+08 J/ha	2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00	
N	Recursos da Natureza								
20	Erosão do solo	0,0 1,0	6,0E+02 kg/ha	7,2E+11	0,0E+00	4,3E+14	\$0,00	\$130,91	
21	Água - aplicação de herbicida	0,0 1,0	3,6E+07 J/ha	2,6E+05	0,0E+00	9,1E+12	\$0,00	\$2,75	
M	Materiais da Economia								
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	0,5 0,5	7,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15	
23	Herbicida	0,0 1,0	1,9E+01 kg/ha	1,30E+15	0,0E+00	2,4E+16	\$0,00	\$7.287,88	
24	Formicida	0,0 1,0	1,0E+01 kg/ha	2,48E+13	0,0E+00	2,5E+14	\$0,00	\$75,15	
25	Adubo químico	0,0 1,0	2,6E+02 kg/ha	6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27	
26	Calário	0,0 1,0	3,0E+02 kg/ha	1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73	
27	Depreciação - trator	0,0 1,0	1,0E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69	
28	Depreciação - veículo	0,0 1,0	1,6E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	5,4E+14	\$0,00	\$164,32	
29	Combustível	0,0 1,0	4,1E+02 kg/ha	2,76E+12	0,0E+00	1,1E+15	\$0,00	\$340,30	
30	Cerca	0,4 0,6	3,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60	
S	Serviços da Economia								
31	Mão de obra	0,3 0,7	7,3E+07 J/ha	2,46E+07	5,4E+14	1,3E+15	\$163,98	\$382,62	
32	Mão de obra especializada	0,3 0,7	5,2E+07 J/ha	3,43E+08	5,3E+15	1,2E+16	\$1.617,19	\$3.773,45	

Com 1,5 anos de desenvolvimento, a RF1,5A recebeu da natureza um investimento de R\$ 13.776,02. A entrada de CO₂ e da chuva, respectivamente, continuam a representar os principais investimentos. A Tabela 11 apresenta e a Figura 15 ilustra os dados dos fluxos de investimento agrupados por categoria para a RF1,5A.

Tabela 11 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – RF1,5A

\$	Valor monetário equivalente	\$18.779,52 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos	1,80E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	\$3.627,65 EmUS\$/ha 1,2E+16 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	\$15.151,86 EmUS\$/ha 5,0E+16 seJ/ha
I _N	Energia não renovável da natureza	4,4E+14 seJ/ha
I _R	Energia renovável da natureza	1,2E+16 seJ/ha
F _N	Energia não renovável dos recursos da economia	4,3E+16 seJ/ha
F _R	Energia renovável dos recursos da economia	7,5E+15 seJ/ha
S _N	Energia não renovável dos serviços da economia	1,4E+16 seJ/ha
S _R	Energia renovável dos serviços da economia	5,9E+15 seJ/ha
M _N	Energia não renovável dos materiais da economia	2,9E+16 seJ/ha
M _R	Energia renovável dos materiais da economia	1,6E+15 seJ/ha

Figura 15 - Percentual dos investimentos por categoria para a RF1,5A

Neste momento a economia investiu R\$ 57.539,20 e a diferença das atividades do 1º ano corresponde a R\$ 13.053,00 do investimento da RF1,5A, indicando que as atividades de manutenção 1º semestre do segundo ano são 2,6 vezes maior que o valor desta operação no mercado, com ressalva para a logística dos projetos, segundo a empresa Consultoria Raízes.

O valor referente à utilização do herbicida representa R\$ 27.675,72 do valor total do investimento até este momento, 2 vezes maior que o investimento da natureza. O percentual do investimento renovável e não renovável chega 31% e 69%, respectivamente.

A avaliação emergética do 2º ano dos trabalhos de restauração (Tabela 12) encerra os principais investimentos das áreas analisadas neste estudo. O monitoramento requerido pela SMA32/2014 não foi incluído nesta análise, mas pode ser simulado com o levantamento de novos dados e detalhamentos aqui não especificados.

Tabela 12 - Avaliação emergética do processo de restauração – 2º ano

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R	NR			R	NR	R	NR
1	Sol	1,0	0,0	9,5E+13 J/ha	1	9,5E+13	0,0E+00	\$28,82	\$0,00
2	Chuva (química)	1,0	0,0	1,3E+11 J/ha	3,1E+04	4,1E+15	0,0E+00	\$1.230,02	\$0,00
3	Vento	1,0	0,0	1,2E+09 J/ha	2,5E+03	3,0E+12	0,0E+00	\$0,91	\$0,00
4	Soerguimento geológico	1,0	0,0	9,0E+10 J/ha	1,2E+04	1,1E+15	0,0E+00	\$326,64	\$0,00
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0	0,0	kg/ha	2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0	0,0	9,7E+04 kg/ha	1,0E+11	1,0E+16	0,0E+00	\$3.055,53	\$0,00
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0	0,0	2,8E+01 kg/ha	4,4E+04	1,2E+06	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
8	N ₂ (atmosfera)	1,0	0,0	1,8E+02 kg/ha	4,6E+12	8,3E+14	0,0E+00	\$252,59	\$0,00
9	P (sub-solo)	1,0	0,0	1,0E-01 kg/ha	1,8E+13	1,8E+12	0,0E+00	\$0,55	\$0,00
10	K (sub-solo)	1,0	0,0	1,1E-01 kg/ha	1,7E+12	1,9E+11	0,0E+00	\$0,06	\$0,00
11	Ca (sub-solo)	1,0	0,0	2,4E+00 kg/ha	2,5E+09	6,2E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
12	Mg (sub-solo)	1,0	0,0	3,2E-01 kg/ha	6,1E+09	2,0E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
13	S (sub-solo)	1,0	0,0	kg/ha	2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
14	B (sub-solo)	1,0	0,0	4,1E-03 kg/ha	2,7E+10	1,1E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
15	Cu (sub-solo)	1,0	0,0	7,3E-04 kg/ha	9,8E+10	7,2E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
16	Fe (sub-solo)	1,0	0,0	2,0E-02 kg/ha	1,2E+10	2,4E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
17	Mn (sub-solo)	1,0	0,0	2,0E-02 kg/ha	3,5E+11	7,0E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
18	Zn (sub-solo)	1,0	0,0	1,3E-03 kg/ha	7,2E+10	9,1E+07	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
19	Água para irrigação - plantio/replanto	1,0	0,0	1,1E+08 J/ha	2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00
N	Recursos da Natureza								
20	Erosão do solo	0,0	1,0	8,0E+02 kg/ha	7,2E+11	0,0E+00	5,8E+14	\$0,00	\$174,55
21	Água - aplicação de herbicida	0,0	1,0	4,7E+07 J/ha	2,6E+05	0,0E+00	1,2E+13	\$0,00	\$3,66
M	Materiais da Economia								
22	Mudas florestais - plantio/replanto	0,5	0,5	7,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15
23	Herbicida	0,0	1,0	2,5E+01 kg/ha	1,30E+15	0,0E+00	3,2E+16	\$0,00	\$9.651,52
24	Formicida	0,0	1,0	1,1E+01 kg/ha	2,48E+13	0,0E+00	2,7E+14	\$0,00	\$82,67
25	Adubo químico	0,0	1,0	2,6E+02 kg/ha	6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27
26	Calário	0,0	1,0	3,0E+02 kg/ha	1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73
27	Depreciação - trator	0,0	1,0	1,0E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69
28	Depreciação - veículo	0,0	1,0	1,8E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	6,0E+14	\$0,00	\$183,28
29	Combustível	0,0	1,0	4,2E+02 kg/ha	2,76E+12	0,0E+00	1,2E+15	\$0,00	\$349,70
30	Cerca	0,4	0,6	3,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60
S	Serviços da Economia								
31	Mão de obra	0,3	0,7	8,8E+07 J/ha	2,46E+07	6,5E+14	1,5E+15	\$196,47	\$458,44
32	Mão de obra especializada	0,3	0,7	6,1E+07 J/ha	3,43E+08	6,3E+15	1,5E+16	\$1.896,02	\$4.424,04

A partir do segundo ano, os investimentos da natureza passam a ser significativos também para o soerguimento geológico e a entrada de nitrogênio da atmosfera, que compõem R\$1.240,41 e R\$ 959,21 do investimento total, respectivamente. O herbicida utilizado em 2 anos foi quantificado em 24,5 kg/ha o que custaria R\$ 637,00 no mercado (considerando R\$ 26,00/kg), que desconsidera o trabalho da natureza na obtenção de um recurso.

A avaliação emergética permitiu identificar que os 24,5 kg de herbicida utilizados em 2 anos, representam R\$ 36.651,63 (R\$ 1.495,98/kg), esta diferença representa o alto investimento de recursos naturais para a obtenção deste produto não renovável, além dos riscos que ele oferece a saúde humana, a flora e a fauna.

Repensar a utilização deste produto em projetos de restauração ecológica pode melhorar a renovabilidade do processo de restauração, que será discutido a seguir, bem como a necessidade de se investigar alternativas para a

utilização deste produto. A Tabela 13 apresenta e a Figura 16 ilustra os dados dos fluxos de investimento agrupados por categoria para o 2º ano.

Tabela 13 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – 2º ano

\$	Valor monetário equivalente		\$23.670,90 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos		2,40E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	\$5.081,78 EmUS\$/ha	1,7E+16 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	\$18.589,12 EmUS\$/ha	6,1E+16 seJ/ha
I_N	Energia não renovável da natureza		5,9E+14 seJ/ha
I_R	Energia renovável da natureza		1,6E+16 seJ/ha
F_N	Energia não renovável dos recursos da economia		5,3E+16 seJ/ha
F_R	Energia renovável dos recursos da economia		8,5E+15 seJ/ha
S_N	Energia não renovável dos serviços da economia		1,6E+16 seJ/ha
S_R	Energia renovável dos serviços da economia		6,9E+15 seJ/ha
M_N	Energia não renovável dos materiais da economia		3,7E+16 seJ/ha
M_R	Energia renovável dos materiais da economia		1,6E+15 seJ/ha

Ao final do 2º ano, os investimentos somam R\$ 70.592,20 por hectare, o que dificilmente ultrapassaria o custo de mercado de R\$ 25.000,00 por hectare, com ressalva para a logística e condições da área a ser restaurada, segundo a empresa Consultoria Raízes.

Figura 16 - Percentual dos investimentos por categoria para o 2º ano

A contabilidade dos dois primeiros anos do processo de restauração somam um investimento de 23.670,90 EmUS\$/ha, com um fluxo anual de investimento de 11.835,45 EmUS\$/ha.ano. A partir do segundo ano, a avaliação

emergética desenvolvida contabiliza apenas os investimentos da natureza, considerando que os investimentos da economia para o desenvolvimento das atividades de restauração terminam no segundo ano.

Novos investimentos econômicos podem ser simulados a partir de um detalhamento maior na coleta de dados. As Tabelas 14 a 23 apresentam os resultados da avaliação emergética para as demais áreas em processo de restauração estudadas.

Tabela 14 - Avaliação emergética do processo de restauração – RF5A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R NR		R NR	
1	Sol	1,0 0,0	2,4E+14 J/ha	1	2,4E+14	0,0E+00	\$73,16	\$0,00	
2	Chuva (química)	1,0 0,0	3,3E+11 J/ha	3,1E+04	1,0E+16	0,0E+00	\$3.075,04	\$0,00	
3	Vento	1,0 0,0	3,1E+09 J/ha	2,5E+03	7,5E+12	0,0E+00	\$2,29	\$0,00	
4	Soerguimento geológico	1,0 0,0	2,2E+11 J/ha	1,2E+04	2,7E+15	0,0E+00	\$816,60	\$0,00	
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0 0,0	kg/ha	2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	7,3E+04 kg/ha	1,0E+11	7,6E+15	0,0E+00	\$2.293,76	\$0,00	
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0 0,0	2,6E+05 kg/ha	4,4E+04	1,1E+10	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
8	N ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	7,8E+02 kg/ha	4,6E+12	3,6E+15	0,0E+00	\$1.092,05	\$0,00	
9	P (sub-solo)	1,0 0,0	3,5E-01 kg/ha	1,8E+13	6,2E+12	0,0E+00	\$1,88	\$0,00	
10	K (sub-solo)	1,0 0,0	2,6E-01 kg/ha	1,7E+12	4,6E+11	0,0E+00	\$0,14	\$0,00	
11	Ca (sub-solo)	1,0 0,0	9,3E+00 kg/ha	2,5E+09	2,4E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
12	Mg (sub-solo)	1,0 0,0	1,3E+00 kg/ha	6,1E+09	8,2E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
13	S (sub-solo)	1,0 0,0	kg/ha	2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
14	B (sub-solo)	1,0 0,0	2,4E-02 kg/ha	2,7E+10	6,5E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
15	Cu (sub-solo)	1,0 0,0	8,8E-03 kg/ha	9,8E+10	8,6E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
16	Fe (sub-solo)	1,0 0,0	1,3E-01 kg/ha	1,2E+10	1,5E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
17	Mn (sub-solo)	1,0 0,0	1,1E-01 kg/ha	3,5E+11	4,0E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
18	Zn (sub-solo)	1,0 0,0	5,3E-03 kg/ha	7,2E+10	3,8E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
19	Água para irrigação - plantio/replanteio	1,0 0,0	1,1E+08 J/ha	2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00	
N Recursos da Natureza									
20	Erosão do solo	0,0 1,0	9,2E+02 kg/ha	7,2E+11	0,0E+00	6,6E+14	\$0,00	\$200,73	
21	Água - aplicação de herbicida	0,0 1,0	4,7E+07 J/ha	2,6E+05	0,0E+00	1,2E+13	\$0,00	\$3,66	
M Materiais da Economia									
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	0,5 0,5	7,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15	
23	Herbicida	0,0 1,0	2,5E+01 kg/ha	1,30E+15	0,0E+00	3,2E+16	\$0,00	\$9.651,52	
24	Formicida	0,0 1,0	1,1E+01 kg/ha	2,48E+13	0,0E+00	2,7E+14	\$0,00	\$82,67	
25	Adubo químico	0,0 1,0	2,6E+02 kg/ha	6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27	
26	Calcário	0,0 1,0	3,0E+02 kg/ha	1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73	
27	Depreciação - trator	0,0 1,0	1,0E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69	
28	Depreciação - veículo	0,0 1,0	1,8E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	6,0E+14	\$0,00	\$183,28	
29	Combustível	0,0 1,0	4,2E+02 kg/ha	2,76E+12	0,0E+00	1,2E+15	\$0,00	\$349,70	
30	Cerca	0,4 0,6	3,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60	
S Serviços da Economia									
31	Mão de obra	0,3 0,7	8,8E+07 J/ha	2,46E+07	6,5E+14	1,5E+15	\$196,47	\$458,44	
32	Mão de obra especializada	0,3 0,7	6,1E+07 J/ha	3,43E+08	6,3E+15	1,5E+16	\$1.896,02	\$4.424,04	

Tabela 15 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – RF5A

\$	Valor monetário equivalente	\$26.156,89 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos	1,96E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	2,5E+16 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	6,1E+16 seJ/ha
I_N	Energia não renovável da natureza	6,7E+14 seJ/ha
I_R	Energia renovável da natureza	2,4E+16 seJ/ha
F_N	Energia não renovável dos recursos da economia	5,3E+16 seJ/ha
F_R	Energia renovável dos recursos da economia	8,5E+15 seJ/ha
S_N	Energia não renovável dos serviços da economia	1,6E+16 seJ/ha
S_R	Energia renovável dos serviços da economia	6,9E+15 seJ/ha
M_N	Energia não renovável dos materiais da economia	3,7E+16 seJ/ha
M_R	Energia renovável dos materiais da economia	1,6E+15 seJ/ha

Tabela 16 - Avaliação emergética do processo de restauração – RF8A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R NR		R NR	
1	Sol	1,0 0,0	4,0E+14 J/ha		1	4,0E+14	0,0E+00	\$121,51	\$0,00
2	Chuva (química)	1,0 0,0	5,3E+11 J/ha		3,1E+04	1,6E+16	0,0E+00	\$4.920,06	\$0,00
3	Vento	1,0 0,0	4,9E+09 J/ha		2,5E+03	1,2E+13	0,0E+00	\$3,66	\$0,00
4	Soerguimento geológico	1,0 0,0	3,6E+11 J/ha		1,2E+04	4,3E+15	0,0E+00	\$1.306,56	\$0,00
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0 0,0	kg/ha		2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	5,7E+04 kg/ha		1,0E+11	5,9E+15	0,0E+00	\$1.792,33	\$0,00
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0 0,0	2,1E+05 kg/ha		4,4E+04	9,1E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
8	N ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	1,2E+03 kg/ha		4,6E+12	5,6E+15	0,0E+00	\$1.695,74	\$0,00
9	P (sub-solo)	1,0 0,0	3,9E-01 kg/ha		1,8E+13	6,9E+12	0,0E+00	\$2,10	\$0,00
10	K (sub-solo)	1,0 0,0	8,5E-01 kg/ha		1,7E+12	1,5E+12	0,0E+00	\$0,45	\$0,00
11	Ca (sub-solo)	1,0 0,0	6,6E+00 kg/ha		2,5E+09	1,7E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00
12	Mg (sub-solo)	1,0 0,0	1,6E+00 kg/ha		6,1E+09	9,9E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
13	S (sub-solo)	1,0 0,0	kg/ha		2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
14	B (sub-solo)	1,0 0,0	3,1E-02 kg/ha		2,7E+10	8,3E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
15	Cu (sub-solo)	1,0 0,0	6,9E-03 kg/ha		9,8E+10	6,8E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
16	Fe (sub-solo)	1,0 0,0	1,3E-01 kg/ha		1,2E+10	1,6E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
17	Mn (sub-solo)	1,0 0,0	1,4E-01 kg/ha		3,5E+11	4,8E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00
18	Zn (sub-solo)	1,0 0,0	1,0E-02 kg/ha		7,2E+10	7,2E+08	0,0E+00	\$0,00	\$0,00
19	Água para irrigação - plantio/replanteio	1,0 0,0	1,1E+08 J/ha		2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00
N	Recursos da Natureza								
20	Erosão do solo	0,0 1,0	1,0E+03 kg/ha		7,2E+11	0,0E+00	7,5E+14	\$0,00	\$226,91
21	Água - aplicação de herbicida	0,0 1,0	4,7E+07 J/ha		2,6E+05	0,0E+00	1,2E+13	\$0,00	\$3,66
M	Materiais da Economia								
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	0,5 0,5	7,2E+02 US\$/ha		3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15
23	Herbicida	0,0 1,0	2,5E+01 kg/ha		1,30E+15	0,0E+00	3,2E+16	\$0,00	\$9.651,52
24	Formicida	0,0 1,0	1,1E+01 kg/ha		2,48E+13	0,0E+00	2,7E+14	\$0,00	\$82,67
25	Aduto químico	0,0 1,0	2,6E+02 kg/ha		6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27
26	Calcário	0,0 1,0	3,0E+02 kg/ha		1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73
27	Depreciação - trator	0,0 1,0	1,0E+02 US\$/ha		3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69
28	Depreciação - veículo	0,0 1,0	1,8E+02 US\$/ha		3,30E+12	0,0E+00	6,0E+14	\$0,00	\$183,28
29	Combustível	0,0 1,0	4,2E+02 kg/ha		2,76E+12	0,0E+00	1,2E+15	\$0,00	\$349,70
30	Cerca	0,4 0,6	3,2E+02 US\$/ha		3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60
S	Serviços da Economia								
31	Mão de obra	0,3 0,7	8,8E+07 J/ha		2,46E+07	6,5E+14	1,5E+15	\$196,47	\$458,44
32	Mão de obra especializada	0,3 0,7	6,1E+07 J/ha		3,43E+08	6,3E+15	1,5E+16	\$1.896,02	\$4.424,04

Tabela 17 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – RF8A

\$	Valor monetário equivalente	\$28.670,57 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos	1,53E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	3,3E+16 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	6,1E+16 seJ/ha
I_N	Energia não renovável da natureza	7,6E+14 seJ/ha
I_R	Energia renovável da natureza	3,3E+16 seJ/ha
F_N	Energia não renovável dos recursos da economia	5,3E+16 seJ/ha
F_R	Energia renovável dos recursos da economia	8,5E+15 seJ/ha
S_N	Energia não renovável dos serviços da economia	1,6E+16 seJ/ha
S_R	Energia renovável dos serviços da economia	6,9E+15 seJ/ha
M_N	Energia não renovável dos materiais da economia	3,7E+16 seJ/ha
M_R	Energia renovável dos materiais da economia	1,6E+15 seJ/ha

A RF5A passa a receber a chuva como o maior investimento realizado pela natureza, seguido do CO₂ e do N₂, tendência que se mantém para a RF8A. A RF14A se aproxima das características da área avaliada por Odum et al. (2000), com plantio diversificado de árvores como uma das 6 alternativas avaliadas em Porto Rico, que aos 15 anos já apresentou fechamento do dossel, com um fluxo de 1.890 EmUS\$/ha.ano, frente ao fluxo anual de 2.683,01 EmUS\$/ha.ano para a RF14A no Pontal do Paranapanema, Brasil. A chuva ainda é o maior investimento da natureza, mas da entrada de N₂ já ultrapassa o valor de entrada do CO₂.

Tabela 18 - Avaliação emergética do processo de restauração – RF14A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R NR		R NR	
1	Sol	1,0 0,0	7,7E+14 J/ha	1	7,7E+14	0,0E+00	\$233,75	\$0,00	
2	Chuva (química)	1,0 0,0	9,3E+11 J/ha	3,1E+04	2,8E+16	0,0E+00	\$8.610,11	\$0,00	
3	Vento	1,0 0,0	8,6E+09 J/ha	2,5E+03	2,1E+13	0,0E+00	\$6,40	\$0,00	
4	Soerguimento geológico	1,0 0,0	6,3E+11 J/ha	1,2E+04	7,5E+15	0,0E+00	\$2.286,48	\$0,00	
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0 0,0	kg/ha	2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	1,2E+05 kg/ha	1,0E+11	1,2E+16	0,0E+00	\$3.670,06	\$0,00	
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0 0,0	4,2E+05 kg/ha	4,4E+04	1,8E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
8	N ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	2,8E+03 kg/ha	4,6E+12	1,3E+16	0,0E+00	\$3.875,37	\$0,00	
9	P (sub-solo)	1,0 0,0	6,9E-01 kg/ha	1,8E+13	1,2E+13	0,0E+00	\$3,71	\$0,00	
10	K (sub-solo)	1,0 0,0	1,5E+00 kg/ha	1,7E+12	2,7E+12	0,0E+00	\$0,80	\$0,00	
11	Ca (sub-solo)	1,0 0,0	2,5E+01 kg/ha	2,5E+09	6,2E+10	0,0E+00	\$0,02	\$0,00	
12	Mg (sub-solo)	1,0 0,0	3,7E+00 kg/ha	6,1E+09	2,3E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
13	S (sub-solo)	1,0 0,0	kg/ha	2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
14	B (sub-solo)	1,0 0,0	8,3E-02 kg/ha	2,7E+10	2,2E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
15	Cu (sub-solo)	1,0 0,0	1,9E-02 kg/ha	9,8E+10	1,9E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
16	Fe (sub-solo)	1,0 0,0	8,5E-01 kg/ha	1,2E+10	1,0E+10	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
17	Mn (sub-solo)	1,0 0,0	2,5E-01 kg/ha	3,5E+11	8,7E+10	0,0E+00	\$0,03	\$0,00	
18	Zn (sub-solo)	1,0 0,0	9,6E-02 kg/ha	7,2E+10	6,9E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
19	Água para irrigação - plantio/replanteio	1,0 0,0	1,1E+08 J/ha	2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00	
N Recursos da Natureza									
20	Erosão do solo	0,0 1,0	1,3E+03 kg/ha	7,2E+11	0,0E+00	9,2E+14	\$0,00	\$279,27	
21	Água - aplicação de herbicida	0,0 1,0	4,7E+07 J/ha	2,6E+05	0,0E+00	1,2E+13	\$0,00	\$3,66	
M Materiais da Economia									
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	0,5 0,5	7,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15	
23	Herbicida	0,0 1,0	2,5E+01 kg/ha	1,30E+15	0,0E+00	3,2E+16	\$0,00	\$9.651,52	
24	Formicida	0,0 1,0	1,1E+01 kg/ha	2,48E+13	0,0E+00	2,7E+14	\$0,00	\$82,67	
25	Adubo químico	0,0 1,0	2,6E+02 kg/ha	6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27	
26	Calcário	0,0 1,0	3,0E+02 kg/ha	1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73	
27	Depreciação - trator	0,0 1,0	1,0E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69	
28	Depreciação - veículo	0,0 1,0	1,8E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	6,0E+14	\$0,00	\$183,28	
29	Combustível	0,0 1,0	4,2E+02 kg/ha	2,76E+12	0,0E+00	1,2E+15	\$0,00	\$349,70	
30	Cerca	0,4 0,6	3,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60	
S Serviços da Economia									
31	Mão de obra	0,3 0,7	8,8E+07 J/ha	2,46E+07	6,5E+14	1,5E+15	\$196,47	\$458,44	
32	Mão de obra especializada	0,3 0,7	6,1E+07 J/ha	3,43E+08	6,3E+15	1,5E+16	\$1.896,02	\$4.424,04	

Tabela 19 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – RF14A

\$	Valor monetário equivalente	\$37.567,25 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos	3,14E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	6,3E+16 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	6,1E+16 seJ/ha
I_N	Energia não renovável da natureza	9,3E+14 seJ/ha
I_R	Energia renovável da natureza	6,2E+16 seJ/ha
F_N	Energia não renovável dos recursos da economia	5,3E+16 seJ/ha
F_R	Energia renovável dos recursos da economia	8,5E+15 seJ/ha
S_N	Energia não renovável dos serviços da economia	1,6E+16 seJ/ha
S_R	Energia renovável dos serviços da economia	6,9E+15 seJ/ha
M_N	Energia não renovável dos materiais da economia	3,7E+16 seJ/ha
M_R	Energia renovável dos materiais da economia	1,6E+15 seJ/ha

Tabela 20 - Avaliação emergética do processo de restauração – RF20A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R NR		R NR	
1	Sol	1,0 0,0	1,2E+15 J/ha	1	1,2E+15	0,0E+00	\$352,81	\$0,00	
2	Chuva (química)	1,0 0,0	1,3E+12 J/ha	3,1E+04	4,1E+16	0,0E+00	\$12.300,15	\$0,00	
3	Vento	1,0 0,0	1,2E+10 J/ha	2,5E+03	3,0E+13	0,0E+00	\$9,14	\$0,00	
4	Soerguimento geológico	1,0 0,0	9,0E+11 J/ha	1,2E+04	1,1E+16	0,0E+00	\$3.266,40	\$0,00	
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0 0,0	kg/ha	2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	2,0E+05 kg/ha	1,0E+11	2,1E+16	0,0E+00	\$6.297,71	\$0,00	
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0 0,0	4,1E+05 kg/ha	4,4E+04	1,8E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
8	N ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	4,7E+03 kg/ha	4,6E+12	2,2E+16	0,0E+00	\$6.542,14	\$0,00	
9	P (sub-solo)	1,0 0,0	1,6E+00 kg/ha	1,8E+13	2,9E+13	0,0E+00	\$8,74	\$0,00	
10	K (sub-solo)	1,0 0,0	3,8E+00 kg/ha	1,7E+12	6,6E+12	0,0E+00	\$2,01	\$0,00	
11	Ca (sub-solo)	1,0 0,0	4,4E+01 kg/ha	2,5E+09	1,1E+11	0,0E+00	\$0,03	\$0,00	
12	Mg (sub-solo)	1,0 0,0	4,4E+00 kg/ha	6,1E+09	2,7E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
13	S (sub-solo)	1,0 0,0	kg/ha	2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
14	B (sub-solo)	1,0 0,0	1,2E-01 kg/ha	2,7E+10	3,3E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
15	Cu (sub-solo)	1,0 0,0	2,1E-02 kg/ha	9,8E+10	2,0E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
16	Fe (sub-solo)	1,0 0,0	6,5E-01 kg/ha	1,2E+10	7,8E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
17	Mn (sub-solo)	1,0 0,0	2,1E-01 kg/ha	3,5E+11	7,3E+10	0,0E+00	\$0,02	\$0,00	
18	Zn (sub-solo)	1,0 0,0	1,5E-01 kg/ha	7,2E+10	1,1E+10	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
19	Água para irrigação - plantio/replanteio	1,0 0,0	1,1E+08 J/ha	2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00	
N	Recursos da Natureza								
20	Erosão do solo	0,0 1,0	1,5E+03 kg/ha	7,2E+11	0,0E+00	1,1E+15	\$0,00	\$331,64	
21	Água - aplicação de herbicida	0,0 1,0	4,7E+07 J/ha	2,6E+05	0,0E+00	1,2E+13	\$0,00	\$3,66	
M	Materiais da Economia								
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	0,5 0,5	7,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15	
23	Herbicida	0,0 1,0	2,5E+01 kg/ha	1,30E+15	0,0E+00	3,2E+16	\$0,00	\$9.651,52	
24	Formicida	0,0 1,0	1,1E+01 kg/ha	2,48E+13	0,0E+00	2,7E+14	\$0,00	\$82,67	
25	Adubo químico	0,0 1,0	2,6E+02 kg/ha	6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27	
26	Calcário	0,0 1,0	3,0E+02 kg/ha	1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73	
27	Depreciação - trator	0,0 1,0	1,0E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69	
28	Depreciação - veículo	0,0 1,0	1,8E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	6,0E+14	\$0,00	\$183,28	
29	Combustível	0,0 1,0	4,2E+02 kg/ha	2,76E+12	0,0E+00	1,2E+15	\$0,00	\$349,70	
30	Cerca	0,4 0,6	3,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60	
S	Serviços da Economia								
31	Mão de obra	0,3 0,7	8,8E+07 J/ha	2,46E+07	6,5E+14	1,5E+15	\$196,47	\$458,44	
32	Mão de obra especializada	0,3 0,7	6,1E+07 J/ha	3,43E+08	6,3E+15	1,5E+16	\$1.896,02	\$4.424,04	

Tabela 21 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – RF20A

\$	Valor monetário equivalente	\$47.712,05 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos	5,38E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	9,6E+16 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	6,1E+16 seJ/ha
I _N	Energia não renovável da natureza	1,1E+15 seJ/ha
I _R	Energia renovável da natureza	9,5E+16 seJ/ha
F _N	Energia não renovável dos recursos da economia	5,3E+16 seJ/ha
F _R	Energia renovável dos recursos da economia	8,5E+15 seJ/ha
S _N	Energia não renovável dos serviços da economia	1,6E+16 seJ/ha
S _R	Energia renovável dos serviços da economia	6,9E+15 seJ/ha
M _N	Energia não renovável dos materiais da economia	3,7E+16 seJ/ha
M _R	Energia renovável dos materiais da economia	1,6E+15 seJ/ha

Tabela 22 - Avaliação emergética do processo de restauração – RF26A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº	Item	Fração	Valor	Unidade do fluxo	Tr (seJ/uni.)	Em Solar (seJ/ha)	Em Solar (seJ/ha)	EmUS\$/ha	EmUS\$/ha
I	Recursos da Natureza	R NR				R NR		R NR	
1	Sol	1,0 0,0	1,6E+15 J/ha	1	1,6E+15	0,0E+00	\$469,82	\$0,00	
2	Chuva (química)	1,0 0,0	1,7E+12 J/ha	3,1E+04	5,3E+16	0,0E+00	\$15.990,20	\$0,00	
3	Vento	1,0 0,0	1,6E+10 J/ha	2,5E+03	3,9E+13	0,0E+00	\$11,89	\$0,00	
4	Soerguimento geológico	1,0 0,0	1,2E+12 J/ha	1,2E+04	1,4E+16	0,0E+00	\$4.246,32	\$0,00	
5	Água (lençol freático para nascente)	1,0 0,0	kg/ha	2,4E+05	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
6	CO ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	2,0E+05 kg/ha	1,0E+11	2,1E+16	0,0E+00	\$6.385,26	\$0,00	
7	CH ₄ (atmosfera)	1,0 0,0	4,8E+05 kg/ha	4,4E+04	2,1E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
8	N ₂ (atmosfera)	1,0 0,0	8,0E+03 kg/ha	4,6E+12	3,7E+16	0,0E+00	\$11.130,94	\$0,00	
9	P (sub-solo)	1,0 0,0	2,6E+00 kg/ha	1,8E+13	4,6E+13	0,0E+00	\$13,94	\$0,00	
10	K (sub-solo)	1,0 0,0	7,7E+00 kg/ha	1,7E+12	1,3E+13	0,0E+00	\$4,05	\$0,00	
11	Ca (sub-solo)	1,0 0,0	6,2E+01 kg/ha	2,5E+09	1,6E+11	0,0E+00	\$0,05	\$0,00	
12	Mg (sub-solo)	1,0 0,0	1,0E+01 kg/ha	6,1E+09	6,2E+10	0,0E+00	\$0,02	\$0,00	
13	S (sub-solo)	1,0 0,0	kg/ha	2,7E+10	0,0E+00	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
14	B (sub-solo)	1,0 0,0	1,6E-01 kg/ha	2,7E+10	4,3E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
15	Cu (sub-solo)	1,0 0,0	3,3E-02 kg/ha	9,8E+10	3,2E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
16	Fe (sub-solo)	1,0 0,0	6,3E-01 kg/ha	1,2E+10	7,6E+09	0,0E+00	\$0,00	\$0,00	
17	Mn (sub-solo)	1,0 0,0	3,7E-01 kg/ha	3,5E+11	1,3E+11	0,0E+00	\$0,04	\$0,00	
18	Zn (sub-solo)	1,0 0,0	6,0E-01 kg/ha	7,2E+10	4,3E+10	0,0E+00	\$0,01	\$0,00	
19	Água para irrigação - plantio/replanteio	1,0 0,0	1,1E+08 J/ha	2,6E+05	2,8E+13	0,0E+00	\$8,44	\$0,00	
N Recursos da Natureza									
20	Erosão do solo	0,0 1,0	1,8E+03 kg/ha	7,2E+11	0,0E+00	1,3E+15	\$0,00	\$384,00	
21	Água - aplicação de herbicida	0,0 1,0	4,7E+07 J/ha	2,6E+05	0,0E+00	1,2E+13	\$0,00	\$3,66	
M Materiais da Economia									
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	0,5 0,5	7,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	1,2E+15	1,2E+15	\$362,15	\$362,15	
23	Herbicida	0,0 1,0	2,5E+01 kg/ha	1,30E+15	0,0E+00	3,2E+16	\$0,00	\$9.651,52	
24	Formicida	0,0 1,0	1,1E+01 kg/ha	2,48E+13	0,0E+00	2,7E+14	\$0,00	\$82,67	
25	Adubo químico	0,0 1,0	2,6E+02 kg/ha	6,38E+11	0,0E+00	1,7E+14	\$0,00	\$50,27	
26	Calário	0,0 1,0	3,0E+02 kg/ha	1,68E+12	0,0E+00	5,0E+14	\$0,00	\$152,73	
27	Depreciação - trator	0,0 1,0	1,0E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	3,4E+14	\$0,00	\$103,69	
28	Depreciação - veículo	0,0 1,0	1,8E+02 US\$/ha	3,30E+12	0,0E+00	6,0E+14	\$0,00	\$183,28	
29	Combustível	0,0 1,0	4,2E+02 kg/ha	2,76E+12	0,0E+00	1,2E+15	\$0,00	\$349,70	
30	Cerca	0,4 0,6	3,2E+02 US\$/ha	3,30E+12	4,2E+14	6,3E+14	\$126,40	\$189,60	
S Serviços da Economia									
31	Mão de obra	0,3 0,7	8,8E+07 J/ha	2,46E+07	6,5E+14	1,5E+15	\$196,47	\$458,44	
32	Mão de obra especializada	0,3 0,7	6,1E+07 J/ha	3,43E+08	6,3E+15	1,5E+16	\$1.896,02	\$4.424,04	

Tabela 23 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria – RF26A

\$	Valor monetário equivalente	\$57.237,78 EmUS\$/ha
E	Energia dos recursos produzidos	5,46E+12 J/ha
I	Energia total da natureza	1,3E+17 seJ/ha
F	Energia total dos recursos da economia	6,1E+16 seJ/ha
I_N	Energia não renovável da natureza	1,3E+15 seJ/ha
I_R	Energia renovável da natureza	1,3E+17 seJ/ha
F_N	Energia não renovável dos recursos da economia	5,3E+16 seJ/ha
F_R	Energia renovável dos recursos da economia	8,5E+15 seJ/ha
S_N	Energia não renovável dos serviços da economia	1,6E+16 seJ/ha
S_R	Energia renovável dos serviços da economia	6,9E+15 seJ/ha
M_N	Energia não renovável dos materiais da economia	3,7E+16 seJ/ha
M_R	Energia renovável dos materiais da economia	1,6E+15 seJ/ha

O fluxo de entrada do N₂ permanece próximo ao do CO₂ na RF20A, mas chega a 11.130,94 EmUS\$ enquanto o carbono fica em 6.385,25 EmUS\$ na RF26A. A Figura 17 ilustra a tendência dos investimentos da economia para as áreas estudadas e simuladas.

Figura 17 - Tendência dos investimentos da economia para as áreas estudadas (RF1,5A, RF5A, RF8A, RF14A, RF20A E RF26A) e áreas simuladas (RF1A E RF2A)

O investimento de materiais e serviços da economia aumentam em função do desenvolvimento das atividades de manejo para a RF1A, RF1,5A e RF2A e estabilizam em função do fim dos investimento no final do segundo ano, quando não são mais necessárias intervenções da economia para a continuidade do processo de restauração, que passa a contar apenas com investimentos da natureza (Figura 18).

As porções dos materiais renováveis estabilizam logo no 1º ano devido à fração renovável das mudas e da cerca, uma vez que são utilizados apenas no 1º ano. É importante observar que o valor do investimento da economia, mesmo que estabilizado ano a ano, permanece sendo contabilizado, já que para a análise emergética, o valor do produto final (floresta restaurada) equivale a todo investimento realizado pela economia e pela natureza. A Tabela 24 apresenta todos os fluxos agrupados por categoria.

Figura 18 - Tendência dos investimentos acumulados em EmUS\$/ha e dos investimentos da natureza para as áreas estudadas (RF1,5A, RF5A, RF8A, RF14A, RF20A E RF26A) e áreas simuladas (RF1A E RF2A)

Tabela 24 - Indicação dos valores dos fluxos agrupados por categoria para todas as áreas

Fluxos agrupados	Unidade	RF1A	RF1,5A	RF2A	RF5A	RF8A	RF14A	RF20A	RF26A
\$ Valor monetário equivalente	EmUS\$/ha	\$14.216,78	\$18.779,52	\$23.670,90	\$26.156,89	\$28.670,57	\$37.567,25	\$47.712,05	\$57.237,78
E Energia dos recursos produzidos	J/ha	1,20E+12	1,80E+12	2,40E+12	1,96E+12	1,53E+12	3,14E+12	5,38E+12	5,46E+12
I Energia total da natureza	seJ/ha	8,26E+15	1,20E+16	1,68E+16	2,50E+16	3,33E+16	6,26E+16	9,61E+16	1,28E+17
F Energia total dos recursos da economia	seJ/ha	3,87E+16	5,00E+16	6,13E+16	6,13E+16	6,13E+16	6,13E+16	6,13E+16	6,13E+16
I_N Energia não renovável da natureza	seJ/ha	2,94E+14	4,41E+14	5,88E+14	6,74E+14	7,61E+14	9,34E+14	1,11E+15	1,28E+15
I_R Energia renovável da natureza	seJ/ha	7,96E+15	1,15E+16	1,62E+16	2,43E+16	3,25E+16	6,17E+16	9,50E+16	1,26E+17
F_N Energia não renovável dos recursos da economia	seJ/ha	3,22E+16	4,25E+16	5,28E+16	5,28E+16	5,28E+16	5,28E+16	5,28E+16	5,28E+16
F_R Energia renovável dos recursos da economia	seJ/ha	6,46E+15	7,49E+15	8,52E+15	8,52E+15	8,52E+15	8,52E+15	8,52E+15	8,52E+15
S_N Energia não renovável dos serviços da economia	seJ/ha	1,13E+16	1,37E+16	1,61E+16	1,61E+16	1,61E+16	1,61E+16	1,61E+16	1,61E+16
S_R Energia renovável dos serviços da economia	seJ/ha	4,85E+15	5,88E+15	6,91E+15	6,91E+15	6,91E+15	6,91E+15	6,91E+15	6,91E+15
M_N Energia não renovável dos materiais da economia	seJ/ha	2,09E+16	2,88E+16	3,67E+16	3,67E+16	3,67E+16	3,67E+16	3,67E+16	3,67E+16
M_R Energia renovável dos materiais da economia	seJ/ha	1,61E+15	1,61E+15	1,61E+15	1,61E+15	1,61E+15	1,61E+15	1,61E+15	1,61E+15

A dinâmica do processo de restauração ecológica apresentou uma tendência de aumento no aproveitamento de recursos da natureza, impulsionado por um investimento da economia, que tende a diminuir em função do tempo de restauração. Estas características destacam a capacidade da comunidade implantada permanecer e se estruturar na área, frente às adversidades de uma área degradada e da diminuição dos investimentos da economia.

A tendência de aumento na captação de recursos da natureza não implica em uma trajetória contínua da comunidade implantada. Odum et al. (2000) considerou a biomassa das árvores e do sub-bosque como produto do processo de

restauração. A Figura 19 ilustra os estoques de biomassa acumulada nas árvores (em J/ha) nas áreas estudadas e simuladas. A variação da energia acumulada indica a possibilidade das diferentes trajetórias para a sucessão, reconhecidas também para os resultados do processo de restauração ecológica. Onde, de acordo com Gandolfi et al. (2007), cada comunidade final pode possuir particularidades na sua estrutura e composição em consequência das perturbações naturais e humanas.

Figura 19 - Acúmulo de energia na biomassa arbórea nas diferentes áreas de estudo. As setas ilustram as diferentes trajetórias estruturais que podem ocorrer na comunidade durante o processo de restauração ecológica

5.2.2 Índices Emergéticos

Os índices emergéticos são importantes para fazer inferências da análise emergética, permitindo a caracterização e comparação entre os sistemas avaliados (Ortega et al. 2010). A Tabela 25 apresenta os resultados dos índices emergéticos calculados para este estudo.

Tabela 25 - Resultado dos índices emergéticos

Índices emergéticos		Uni.	RF1A	RF1,5A	RF2A	RF5A	RF8A	RF14A	RF20A	RF26A
1 Energia incorporada pelo sistema	$(Y) = I + F$	seJ/ha	4,69E+16	6,20E+16	7,81E+16	8,63E+16	9,46E+16	1,24E+17	1,57E+17	1,89E+17
2 Transformidade	$(Tr) = Y / E$	seJ/ha	3,91E+04	3,44E+04	3,26E+04	4,40E+04	6,18E+04	3,95E+04	2,93E+04	3,46E+04
3 Renovabilidade Emergética	$\%R = ((I_R + M_R + S_R) / Y) * 100$	%	30,75	30,69	31,62	38,02	43,36	56,64	65,75	71,36
4 Investimento emergético	$EIR = F_N / (I + F_R)$		2,19	2,18	2,09	1,58	1,26	0,74	0,50	0,39
5 Rendimento emergético	$EYR = Y / F$		1,21	1,24	1,27	1,41	1,54	2,02	2,57	3,08
6 Taxa de carga ambiental	$ELR = (I_N + F_N) / (I_R + F_R)$		2,25	2,26	2,16	1,63	1,31	0,77	0,52	0,40
7 Sustentabilidade emergética	$ESI = I_R / (I_N + F_N)$		0,25	0,27	0,30	0,45	0,61	1,15	1,76	2,33

A energia incorporada pelo sistema indica o investimento total em cada uma das áreas estudadas. A Transformidade (Figura 20) além de ser um fator de conversão (ODUM, 1996) pode indicar ao quanto de energia foi requerida pelo sistema (SOUZA, 2010).

Figura 20 - Transformidades das áreas estudadas e simuladas

A transformidade diminui nos três primeiros anos, evidenciando a redução dos investimentos da economia. A partir da RF5A a transformidade oscila, sendo a maior na RF8A, que ultrapassa a transformidade encontrada por Odum et al. (2000) para áreas com reflorestamento de mogno aos 15 anos de idade.

Em Porto Rico (ODUM et al., 2000) as alternativas de reflorestamento fecham as copas com 10 anos via processo de sucessão natural e com 15 anos para o plantio de espécies mistas, com transformidades de 3,9E+04 seJ/J e 1,9E+04, respectivamente. No presente estudo a RF26A é a que possui a transformidade mais próxima da alternativa de sucessão natural avaliada por Odum, mas para o plantio misto, todas as transformidades aqui calculadas ultrapassam os valores que Odum et al. encontrou. Esta diferença pode estar relacionada a utilização de materiais não renováveis com alto valor de transformidade, como o herbicida.

O índice de renovabilidade (Figura 21) indica que os projetos avaliados se tornam mais renováveis em função do tempo de restauração. Este resultado indica que os recursos renováveis, investidos pela natureza, superam os recursos não renováveis investidos pela economia até o segundo ano dos projetos de restauração.

Figura 21 - Renovabilidade das áreas estudadas e simuladas

O índice de investimento energético compara é a razão entre os fluxos da economia e os fluxos da natureza e demonstra a dependência do sistema frente os recursos da economia. A Figura 22 ilustra claramente esta relação, onde nos 3 primeiros anos dos trabalhos da restauração, os sistemas são altamente dependentes dos recursos da economia.

Figura 22 - Investimento energético das áreas estudadas e simuladas

O índice de rendimento energético indica o quanto o investimento inicial na restauração ecológicas das áreas reflete no potencial do sistema em contribuir/exportar recursos locais para a economia. A Figura 23 ilustra claramente o potencial que as áreas, em processo de restauração, têm para fornecer recursos para economia.

Muitos autores sugerem que quando este índice é inferior a 2,0, destaca-se a característica do modelo convencional de produção agrícola (ORTEGA, ANAMI, DINIZ, 2002; ODUM, 1996; CVALETT, QUEIROZ, ORTEGA, 2006). Desta forma, os sistemas estudados só perdem esta característica a partir da RF20A.

Figura 23 - Rendimento emergético das áreas estudadas e simuladas

O índice da razão de carga ambiental indica a pressão do sistema no ambiente. A Figura 24 ilustra de maneira clara a pressão do sistema nos 3 primeiros anos das atividades de restauração e, mais uma vez, revela a pressão dos recursos naturais não renováveis para o meio.

Figura 24 - Razão de carga ambiental das áreas estudadas e simuladas

Um dos maiores desafios da restauração tem sido avaliar a sustentabilidade de ecossistemas restaurados, bem como encontrar indicadores para este fim (LAKE, 2001; CABIM, 2007).

A avaliação emergética pode contribuir com tal desafio, ao proporcionar um índice de sustentabilidade emergética (Figura 25), que indica a contribuição potencial de um recurso para a economia pela carga ambiental. Ao dividir o valor dos recursos naturais renováveis fornecidos pela natureza pela fração não renovável dos recursos da natureza mais a fração não renovável do investimento da economia, observamos que, apesar dos altos investimentos da economia nos primeiros anos, os sistemas adquirem uma capacidade de se sustentar e prosseguir com o processo de sucessão, baseado na captação e utilização de recursos naturais renováveis.

O índice de sustentabilidade emergética indica que a RF8A é 4 vezes mais sustentável que a RF1,5^a. Já a RF20A é 7 vezes mais sustentável que a RF1,5A.

Figura 25 - Índice de sustentabilidade emergética das áreas estudadas e simuladas

5.3 Restauração Dos Bens E Serviços Ecossistêmicos

A correlação interpretativa dos dados coletados, Figuras 26 e 27 propostas por Roncon (2011) e adaptadas para este estudo, possibilitou identificar, quantificar e valorar a restauração dos Bens e Serviços Ecossistêmicos das áreas em processo de restauração ecológica com diferentes idades. As Estruturas (kg/ha, J/ha e sp./ha) são valoradas como Bens e os Fluxos (kg/ha.ano e J/ha.ano) são valorados como serviços, devido a importância ecológica da função que desempenham ao abastecer os sistemas e/ou servir produtos para outros ecossistemas, dentre eles a economia.

A valoração dos fluxos e dos estoques foi realizada a partir da diferença entre os estoques das áreas controle e das áreas em processo de restauração e floresta natural.

Figura 26 - Correlação interpretativa entre Estrutura Ecológica e Serviços Ecossistêmicos (adaptado de RONCON, 2011)

Os estoques valorados foram a (1) restauração da estrutura do solo, (2) restauração dos nutrientes do solo, (3) restauração da biomassa arbórea e (4) a restauração espécimes arbóreos nas áreas em processo de restauração.

Figura 27 - Correlação interpretativa entre Serviços Ambientais e Fluxos Analisados (adaptado de RONCON, 2011)

Os resultados da análise de porosidade do solo indicam a pouca variação da densidade média da partícula do solo entre as áreas controle e a áreas em processo de restauração e floresta natural (Figura 28). Já a densidade média do solo, apresenta uma tendência de aumento quando comparada as das áreas em processo de restauração e floresta natural.

Esta diferença evidencia a compactação em função do tempo para as áreas controle e a tendência de aumento na porosidade nas áreas em processo de restauração. Este aumento na porosidade caracteriza o sucesso da restauração da estrutura física do solo valorada (Figura 29). A valoração foi realizada com o Software LEIA-LARGEA 0-300 V.31.04.05 , e o memorial de cálculo estão descritos no Anexo 01.

Figura 28 - Variação da densidade do solo (DS) e da densidade da partícula (DP) entre as áreas de restauração e floresta natural (RF) e áreas controle (AC)

Figura 29 - Variação do valor da restauração da estrutura física do solo

A sensibilidade do Software desenvolvido capta a valoração negativa na RF1,5A, devido a maior compactação nesta área do que em sua testemunha. A Figura 29 ilustra a tendência do aumento da restauração da estrutura do solo em função do tempo de restauração que chega a 4.927,19 US\$/ha na RF26A.

O cálculo da diferença entre os estoques das áreas em processo de restauração e o das áreas controle resulta na ilustração da Figura 30. Os valores negativos demonstram que para alguns indicadores o tempo de restauração não foi suficiente para restaurar os estoques perdidos, já os valores positivos evidenciam o sucesso da restauração dos estoques de nutrientes no solo (Figura 30). Destaca-se a possibilidade dos múltiplos caminhos para a restauração dos nutrientes do solo, caracterizando este processo como estocástico.

Figura 30 - Variação da restauração dos estoques de nutrientes no solo

Figura 31 - Variação da restauração dos estoques de nutrientes no solo

O processo de restauração da biomassa arbórea (Figura 32) segue uma tendência de aumento em função do tempo de restauração. O valor do estoque de biomassa da floresta natural é 10 vezes maior que o valor da RF26A, evidenciando a memória energética da avaliação emergética aplicada à valoração.

Figura 32 - Variação da restauração da biomassa arbórea

Na contabilidade das tabelas de avaliação emergética, não foi considerado o valor genético das mudas investidas pela economia. Considera-se para este trabalho o valor das morfoespécies que estão regenerando nas áreas (Figura 33), visto o sucesso da implantação da primeira comunidade ao conseguir deixar descendentes na área. A valoração deste item apresentou o valor mais alto desta contabilidade emergética.

A reprodução dos espécimes trazidos para as áreas indica a possibilidade de ocorrência do fluxo gênico, já aos 5 anos de restauração, entre fragmentos isolados, próximos ou não, dependendo da síndrome de dispersão, processo fundamental para a restauração e manutenção da biodiversidade e aumento da diversidade genética nas áreas em processo de restauração, de acordo com Kageyama et al. (1990), Kageyama e Gandara (2000), Kageyama (2002) e Kageyama et al. (2008).

Figura 33 - Variação da restauração das morfoespécies regenerantes

A restauração dos serviços ecossistêmicos foi realizada para os serviços de (1) regulação dos fluxos hidrológicos, (2) fixação de carbono, (3) aporte de biomassa para o solo, fauna e flora, (4) metanotrofia, (5) controle da erosão e (6) produção de água em nascentes. A produção de água não foi valorada neste estudo, mas o software LEIA-LARGEA 0-300 já apresenta esta programação.

A regulação dos fluxos hidrológicos (Figura 34) foi valorada para a restauração do controle do fluxo hídrico do escoamento superficial, evapotranspiração e da percolação. O controle do escoamento superficial reduz a perda de água e do estoque de solo e nutrientes pelo processo de erosão.

A evapotranspiração não foi quantificada como um serviço por Roncon (2011) e Roncon et al. (2012), por considerá-la como um subproduto da produtividade primária, mas para este estudo considerou-se a importância da evapotranspiração para a manutenção do ciclo hidrológico.

Os resultados apresentam a mesma tendência que os calculados por Roncon (2011) e Roncon et al. (2012), que foram interpolados a partir de dados de Buenfil (2001).

Figura 34 - Variação da restauração dos serviços de regulação dos fluxos hidrológicos

O serviço de fixação de carbono foi contabilizado pela produtividade primária líquida (PPL) das áreas, a Figura 35 ilustra a característica estocástica

dessa valoração, bem como os valores da restauração deste serviço. Considera-se a PPL apenas para os indivíduos arbóreos, visto sua característica de manutenção do estoque de carbono em sua biomassa viva.

Este serviço está associado à metanotrofia (Figura 36), juntos são importantes para a regulação dos gases de efeito estufa dispersos na atmosfera. A restauração do processo de metanotrofia ocorre, mas devido ao seu fluxo mássico ser inferior aos demais valorados, ele só expressa algum valor a partir da sétima casa decimal.

Figura 35 - Variação da restauração dos serviços de fixação de carbono

Figura 36 - Variação da restauração do processo de metanotrofia

O serviço de controle de erosão (Figura 37) considera não só o valor da matéria orgânica presente no solo, como Odum (1996), mas sim o valor dos estoques sedimentares, minerais e biológicos do solo, de acordo com Roncon (2011) e Roncon et al. (2012).

O volume de solo erodido foi simulado a partir de dados da literatura (COSTA, 1985) e apesar do mesmo volume de solo ser conservado (para as áreas de restauração), o valor deste controle responde a transformidade de cada solo.

Pois, a transformidade também indica a energia necessária para a formação do produto “solo”, portanto, apesar do mesmo volume ser controlado, seu valor reflete o tempo de formação do mesmo, que no caso é a idade da área em processo de restauração.

O solo da RF1,5A possui mais energia do que os demais solos estudados, devido a sua composição ser maior em componentes sedimentares (areia, silte e argila) do que os demais solos, que apresentam uma composição mais orgânica.

Figura 37 - Variação do controle da erosão do solo

Esta composição rica em matéria orgânica e mineral solúvel, de origem orgânica (serapilheira), conferem aos solos dos processos de restauração mais avançados, características de recursos renováveis, com menor valor emergético do que os recursos sedimentares que possuem um maior valor emergético, decorrente do tempo de formação geológica.

O plantio direto, atividade aplicada aos projetos de restauração, colaboram com este processo de controle dos processos erosivos promovido, na sua maioria, por processos biológicos renováveis como o aporte de serapilheira, estruturação do solo por raízes e aumento da porosidade realizado por macroinvertebrados.

A somatória da restauração dos bens e serviços ecossistêmicos é ilustrada pelas Figuras 38, 39 e 40, respectivamente. A somatória dos bens restaurados na Tabela 36 apresenta os valores dos estoques de biomassa, nutrientes e estrutura do solo. A Figura 37 corresponde à somatória dos bens incluindo o valor da restauração das morfoespécies para a área.

Figura 38 - Somatória da restauração dos estoques. Sem incluir as morfoespécies

Figura 39 - Somatória da restauração dos estoques. Inclui as morfoespécies

Figura 40 - Somatória da restauração dos serviços

De acordo com Odum et al. (2000), o valor dos fluxos anuais tendem a ser maior em áreas de sucessão natural do que em áreas de restauração ecológica com plantios de espécies mistas. Ainda explica que, partindo de uma área degradada, o processo de sucessão ecológica é mais lento e requer mais tempo de investimento da natureza para alcançar os parâmetros equivalentes aos alcançados por projetos de restauração ecológica, devido a energia extra trazida da economia, que acelera o tempo de restauração da área (ODUM et al. 2000).

Até este ponto, a Figura 41 ilustra a comparação da soma dos fluxos de serviços ambientais prestados em áreas de restauração ecológica (RF – este estudo) e áreas de sucessão natural secundária (SF - Roncon, 2011). Observa-se que o valor dos serviços prestados é superior em todas as áreas onde ocorre o processo de sucessão natural, resultado que fortalece as afirmações de Odum et al. (2000).

Figura 41 - Somatória da restauração dos serviços de áreas em processo de restauração (RF) e sucessão (SF) ecológica, organizadas cronologicamente (A = idade)

A avaliação dos serviços prestados pelas áreas de floresta natural do Parque Estadual do Morro do Diabo, evidenciaram que este importante remanescente presta o equivalente a 5.981,64 EmUS\$/ha.ano em serviços ecossistêmicos e mantém um estoque equivalente a 422.915,69 EmUS\$/ha.

O custo médio de manutenção desta área investido pelo Governo do Estado, de acordo com Faria (2006), chega a R\$1,69/ha.ano, frente ao custo médio de R\$25.000,00/ha para desenvolver os trabalhos de restauração ecológica em áreas degradadas, segundo a consulta de preços no mercado.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da avaliação emergética para o processo de restauração ecológica desenvolvido no Pontal do Paranapanema (SP) permite concluir que:

1. Dentre os 9 materiais da economia elencados, o maior investimento está na aplicação de herbicidas, que é 26,6 vezes maior que 2º maior investimento, as mudas florestais, e 27,6 vezes maior que o 3º maior investimento, o petróleo.
2. O processo de restauração ecológica apresenta baixa renovabilidade nos primeiros 2 anos de manejo, principalmente devido a aplicação de herbicida. Apesar de o processo tender a aumentar sua renovabilidade em função do tempo, a natureza precisa investir durante 18 anos para que a renovabilidade do processo de restauração dobre.
3. Para diminuir o investimento emergético e a taxa de carga ambiental, a renovabilidade e o rendimento do processo precisam ser aumentados. Este aumento pode ser realizado mediante a troca dos materiais não renováveis da economia, por materiais renováveis.
4. Os fluxos emergéticos anuais do processo de restauração, no modelo de plantio de mudas nativas em área total, são menores do que os fluxos emergéticos anuais da alternativa de restauração pela sucessão natural secundária; indicando a eficiência desta alternativa.
5. O índice de sustentabilidade emergética, junto com os demais índices, pode ser empregado como indicador da sustentabilidade de projetos de restauração ecológica.
6. A simulação de materiais e serviços alternativos aos simulados neste estudo, com o emprego do software LEIA-LARGE 0-300, permitirá avaliar as operações de restauração antes de executá-las. Esta possibilidade permitirá escolher, dentre as possibilidades de materiais e serviços disponíveis, quais poderão aumentar a renovabilidade e antecipar a sustentabilidade dos processos de restauração ecológica.
7. A avaliação emergética permitiu comprovar que os trabalhos de restauração ecológica, desenvolvidos no Pontal do Paranapanema, pelo Convênio CESP/ESALQ-IPEF, estão restaurando bens e serviços ecossistêmicos. Comprovando a hipótese deste estudo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A referência para a efetivação do processo de restauração ecológica não é apenas o quanto o ecossistema se aproxima de outro em bom estado de conservação, mas também deve-se analisar o quanto a comunidade implantada se distancia da condição de áreas degradada.
2. Seguir as normativas e orientações Legais, sobre a implantação e manutenção dos projetos de restauração, seria no mínimo prudente diante da auditoria dos órgãos fiscais que irão atestar o fim das intervenções de manejo. Além do que, estas normativas estão pautadas em trabalhos acadêmicos que buscam a melhor alternativa de manejo para cada tipo de vegetação.
3. A contabilidade emergética desenvolvida neste trabalho colocou em evidência os principais investimentos realizados pela economia e pela natureza durante o processo de restauração ecológica. Estes resultados reforçam a característica de um processo de cunho ecológico, econômico e social.
4. É preciso repensar o uso de herbicida e na busca por uma alternativa renovável para este material, que é o principal desafio para aumentar a renovabilidade e antecipar a sustentabilidade do processo de restauração ecológica. Que não seja por sua característica funcional, além do baixo custo de mercado, mas sim por custo para o ambiente e devido às externalidades negativas a saúde humana, a qualidade de água, a fauna e a flora nativa.
5. Os índices emergéticos revisados auxiliam na indicação dos investimentos da economia que requerem mais energia, possibilitando a reflexão para a possibilidade da troca do material ou serviço não renovável, por outro que requer menos energia.
6. A AEm é uma metodologia em processo de construção, portanto é preciso rever e buscar continuamente estudos atualizados sobre o valor das transformidades, para assim atualizar e aferir mais precisão aos cálculos emergéticos.
7. A conclusão da AEm do viveiro de mudas florestais, que está em desenvolvimento de acordo com o diagrama da Figura 42, irá evidenciar o real investimento que corresponde as mudas florestais no processo de restauração ecológica.

Figura 42 – Diagrama sistêmico de um viveiro de mudas de árvores nativas

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, F.D.R. **Uso de análise emergética e sistemas de informações geográficas no estudo de pequenas propriedades agrícolas**. 2005. 226p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2005.

ALBUQUERQUE, T.C. **Análise emergética de um sistema agroflorestal: Sítio Catavento, Indaituba, SP**. 2012. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2012.

ANDERSON, J.M. ; INGRAM, J.S.I. **Tropical Soil Biology and Fertility**: a handbook of methods. UNESCO MAB-USB. Wallingford, UK: CAB International, 1993. 221p.

BELLOTTO, A., VIANI, R.A.G., GANDOLFI, S. & RODRIGUES, R.R. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da mata atlântica**. Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.260p.

BRANDT-WILLIAMS, S.L. "**Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation issued in a series of folios**. Folio no. 4 – Emergy of Florida agriculture", CEP, Environmental Engineering Sciences, Gainesville, FL:University of Florida, 2002. 40p.

BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A.E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v.35, p.881-902, 1989.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Rome: FAO, 1997. 55p. (Forestry Paper, 134).

BROWN, M.T. ; CAMPBELL, E. **Evaluation of Natural Capital And Environmental Services of U.S.** National Forests Using Emergy Synthesis. Center for Environmental Policy. University of Florida, Gainesville, FL. 2007.183 p.

BROWN, S. ; LUGO, A.E. Rehabilitation tropical lands: a key to sustaining development. **Restoration Ecology**. v. 2. n. 2, p. 97-111, 1994.

BROWN, M.T.; ULGIATI, S. **Energy Analysis and Environmental Accounting**. Encyclopedia of Energy. v.2. p.329-354, 2004.

BROWN, M.T. ; ULGIATI, S. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital. *AMBIO*, 28,n.6, 486–493, 1999.

BUDOWSKI, G. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes. *Turrialba*, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.

BUENFIL, A.A. **Emergy evaluation of water**. Dissertation (Degree of Doctor of Philosophy) - University of Florida, Gainesville. 2001.

CABIM, R.J. Science-driven restoration: a square grid on a round Earth? *Restorati Ecology*, v.15, n.1, p.1-7, 2007.

CAIRNS, M.A. ; BROWN, S.; HELMER, E.H. ; BAUMGARDNER, G.A. Root biomass allocation in the world´s upland forests. *Oecologia*, Berlin, v. 111, p. 1-11, 1997.

CAMARGO, O.A. ;MONIZ, A.C. ; JORGE, J.A. ; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico 106).

CAMPBELL, D.E.; OHRT, A. **Environmental accounting using emergy: Evaluation of Minnesota**. Narragansett, Rhode Island: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 2009.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.v.1.

CAVALETT, O.; QUEIROZ, J.F.DE.; ORTEGA, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, v. 193, p. 205-224.2006.

CAVALLET, O. **Análise emergética da piscicultura integrada à criação de suínos e de pesquepagues**. 2004. Dissertação de(Mestrado na área de Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade de Campinas, 2004.

CHAVE, J. ; MULLER-LANDAU, H.C. ; BAKER, T.R. ; EASDALE, T.A. ; STEEGE, H.T. ; WEBB, C.O. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, Washington, v. 16, n. 6, p. 2356-2357, 2006.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.A.; CHAMBERS, J.Q.; EAMUS, D.; FOLSTES, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P.; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Berlin, v. 145, p. 87-99, 2005.

COELHO, O.; ORTEGA, E.; COMAR, V. Balanço de Energia do Brasil (Dados de 1996, 1989 e 1981). In: Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. 2003. Enrique Ortega (Organizador). Disponível em <http://www.unicamp.br/fea/ortega/>

COELHO, M.F.C.D.; LIMA, G.S.; PETRELLI JR. M. **Visão dos Recursos Hídricos do Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. 2004.

COHEN, M. J. **Dynamic Emergy Simulation os Soil Genesis and Techniques for Estimating Transformity Confidence Envelopes**. Emergy Synthesis 2: Theory and applications of the emergy methodology. In: **Proceedings...** biennial emergy conference, 2., 2001 Gainesville. The Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 2003. cap. 26, p.355-369.

CONSTANZA, R.; NAEEM, S.; ONEIL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; BELT, M.V.D. The value of world's ecosystem services and natural capital. **Nature** v. 387, p.253-260, 1997.

COSTA, M.B.B. **Nova síntese e novo caminho para a agricultura “adubação orgânica”**. São Paulo: Ícone, 1985. 102p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: MAPA, 1997. 212p.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1999. Disponível em: www.cnps.embrapa.br/sibes/ Acesso em: 08 de agosto/2011.

DURIGAN, G. Métodos para análise de vegetação arbórea. In: CULLEN, L. JR.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Org.). **Métodos de estudo em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, PR: Ed. UFPR. 2003. p. 455-479.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: Tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.de; MORAES, L.F.D. de; ENGEL, V.L. (Org.) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2008. cap. 1 p. 1-26.

FARIA, H.D. de. **Parque Estadual do Morro do Diabo**: plano de manejo. Santa Cruz do Rio Pardo, SP: Editora Viena, 2006. 312 p.

FEARNSIDE, P.M. A previsão de perdas de terra através de erosão do solo sob vários usos de terra na área de colonização da Rodovia Transamazônica. **Acta Amazônica**, Manaus, v.10, n.3, p. 505-511, 1980.

FUJIEDA, M.K.T.; CICCIO, V.; CARVALHO, J.L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Jornal of Hydrology** 196, 1997. 26-46p.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE TERRAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Pontal Verde**: Assentamentos do Pontal do Paranapanema. São Paulo: SP, 1998. 65p.

GANDOLFI, S.; JOLY, C.A.; RODRIGUES, R.R.; MARTINS, S.V. Forest restoration: many views and objectives. In: RODRIGUES, R.R.; MARTINS, S.V.; GANDOLFI, S. (Ed.). **High diversity forest restoration in degraded areas**. New York: Nova Science, Publishers, 2007b. cap. 1.1, p. 3-26.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba – SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 477p.

GRÜNTZIG, V.; STRES, B.; AYALA DEL RÍO, H.L.; TIEDJE, J.M. 2002. **Improved protocol for T-RFLP by capillary electrophoresis**. Ribosomal Database Project II protocols.

GUNN, B. Australian Tree Seed Centre. **Operations Manual**. CSIRO Forestry and Forest Products. Canberra, Australia, 2001. <http://www.csiro.au/Organisation-Structure/Divisions/Plant-Industry/ATSC-manual.aspx>

HUGHES, D.J. **Rates of erosion on meander arcs**. In: RIVER channel changes. John Wiley , 1977. p.193-205.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> . Acesso em: 16 mar. 2012.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/> Acesso em: 08 mar.2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de solos do Brasil**. <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 08 agos.2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação. Brasília: DF, 1990. 96p.

_____. **Unidades de Conservação Federais no Brasil por Bioma**. Disponível em: <http://www2.ibama.gov.br> Acesso em: 09.agos. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica** (Período – 1995-2000). São Paulo, 2000. 43p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. v.4.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v.48, n.6, p.629, 1964.

KAGEYAMA, P.Y.; BIELLA, L.C.; PALERMO, Jr. A. **Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção de reservatório**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos de Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS, v. 1, p. 109-112, 1990.

KAGEYAMA et al. **Recomposição da vegetação com espécies arbóreas nativas em reservatórios de usinas hidrelétricas de CESP**. IPEF Série Técnica, Piracicaba, v. 8, n. 25, p. 1-43, set. 1992. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr25/cap01.pdf>. Acesso em: 21 set. 2012.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. Revegetação de Áreas Ciliares. In: RODRIGUES, R.R. ; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas Ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Editora da USP/FAPESP, 2000.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B.; OLIVEIRA, R.V. de; MORAES, L.F.D. de. **Restauração da Mata Ciliar**: manual de recuperação de áreas ciliares e microbacias. Rio de Janeiro, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Semads/GTZ, 2002. 104 p.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, B.F.; OLIVEIRA, R.E. de. Biodiversidade e restauração da floresta tropical. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.de; MORAES, L.F.D. de; ENGEL, V.L (Org.) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2008. cap.2, p. 29-48.

KIMMINS, J.P. **Forest Ecology**. New York: Macmillan Publishing , 1987.

LAKE, P.S. On the maturing os restoration: linking ecological research and restoration. **Ecological Management and Restoration**, v.2, p.110-115, 2001.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Plantarum, 1992. v.1. 352p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v.2 368p.

LU, H.F.; CAMPBELL, D.E.; LI, Z. A.; REN, H. **Emergy synthesis of an agro-forest restoration system in lower subtropical China**. Ecological Engineering, cidade, v.27, n.3, 2006, p.175–192.

MAGURRAN, A.E. **Medindo a diversidade biológica**. Tradução de VIANNA, D.M. – Curitiba: Ed. Da UFPR, 2011.

MARSH, T.L. Terminal restriction fragment length polymorphism (T-RFLP): an emerging method for characterizing diversity among homologous populations of amplification products. **Currents Opinion. Microbiology**, v. 2, p. 323-327, 1999.

MARTINS, S.V.(Ed.) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 293p.

MARTINS, F.R. **Estrutura de uma floresta mesófila**. Campinas: UNICAMP, 1991. 246p.

MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Evolução estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.73, p.101-111, 2007.

Millennium Ecosystem Assessment. **Ecossistemas e Bem-estar humano**: Estrutura para uma Avaliação. Tradução: Renata Lucia Bottini. São Paulo: Editora Senac, São Paulo, 2003.

Millennium Ecosystem Assessment. **Relatório-Síntese da Avaliação Ecossistêmica do Milênio**. 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org> Acesso em: 10 ago.2011.

MIRANDA, D.L.C. de; MELO, A.C.G. de; SANQUETTA, C.R. Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, Edição Especial, p. 679-689, 2011.

MOORE, J.C.; WALTER, D.E.; HUNT, H.W. Arthropod regulation of micro-and mesobiota in bellow-grond detrital food webs. **Annual Reviews of Entomology**, Palo Alto, v. 33, p. 419-439, 1988.

NASA. **Surface Meteorology an Solar Energy**. Disponível em: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov> Acesso em: 05/04/2015.

ODUM, H.T. **A tropical rain forest**. A study of irradiation and ecology at El Verde, Puerto Rico. Office of Information Services - U.S. Atomic Energy Commission. USAEC Technical Information Center, Oak Ridge, Tennessee, 1970.

ODUM, H.T.; DOHERTY, S.J.; SCATENA, F.N.; KHARECHA, P.A. Emergy Evaluation of Reforestation Alternatives in Puerto Rico, **Forest Science** , Bethesda, MD, v. 46, n.4, 2000

.

ODUM, H.T. ; ODUM, E.P. The energetic basis for valuation of ecosystem services. **Ecosystems**, 3, 2000a. p. 21–23.

ODUM, H.T. ; ODUM, E.C. Modeling for all scales: an introduction to system simulation. **Academic Press**, San Diego, CA, United States, 2000b. 458 p.

ODUM, H.T. **Environmental accounting: emergy and decision making**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 370 p.

_____. **Emergy Accounting**. Environmental Engineering Sciences. University of Florida, Gainesville: Florida, USA. 2000. Disponível em: <http://dieoff.org/page232.pdf> Acesso em: 15.agos.2011.

ORTEGA, E. **New emergy indices for a prosperous way down**. In: Biennial Emergy Research Conference, 6. 2010, Gainesville, **Proceedings...** University Florida, Gainesville: Florida, 2010.

_____. **A importância da ecologia com visão sistêmica para o desenvolvimento sustentável.** Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/ecologia/index.htm> Acesso em: 13.jun.2011.

ORTEGA, E. **Tabela de Transformidades.** 2011 Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm> . Acesso em: 20 set. 2013.

ORTEGA, E., ANAMI, M., DINIZ, G. **Certification of food products using emegy analysis.** In: III International Workshop Advances in Energy Studies. 2002. Porto Venere, Italy, p. 227-237.

Parliamentary Office of Science and Technology. **Ecosystem Services.** Disponível em <http://www.parliament.uk/documents/upload/postpn281.pdf> Acesso em: 13.jun.2011.

PARROTA, J.A.; KNOWLES, O.H.; WUNDERLE JR.; J.M. Development of floristic diversity in 10 year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.99, p.21-42, 1997.

PASCAL, J.P. Quelques exemples de problèmes posés à l'analyste et au modélisateur par la complexité de la forêt tropicale humide. **Revue d'Écologie (La Terre et la Vie)** , v. 50, n. 3, 1995, p. 237-249.

POLY, F.; MONROZIER, L.J.; BALLY, R. Improvement in the RFLP procedure for studying the diversity of nifH genes in communities of nitrogen fixers in soil. **Research in Microbiology**, Paris, v. 152, p. 95-103, 2001.

PULITANO, F.M.; DURIGAN, G. A mata ciliar da Fazenda Cananéia: estrutura e composição florística em dois setores com idades diferentes. In: VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista:** resultados da cooperação Brasil/Japão. São Paulo, Páginas e Letras, 2004. p.419-445.

RIBEIRO, M.F.; IWANICKI, N.S.; FERRAZ, E.M.; POTENZA, R.F.; GANDARA, F.B. Biometria de sementes de cinquenta espécies arbóreas nativas da mata atlântica do estado de São Paulo. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 10., 2011. São Lourenço. Minas Gerais, 2011.

RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da mata atlântica:** referencial dos conceitos e ações de restauração florestal – São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.

RONCON, T. J. **Valoração Ecológica de Áreas de Preservação Permanente**. 2011. 180p.. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP, 2011.

RONCON, T.J.; BESKOW, P.R.; ORTEGA, E.; MARGARIDO, L.A.C.; DINIZ JUNIOR, G.M. **Valoração ecológica aplicada a áreas de preservação permanente**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 7, n.3, p. 3-15, 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Atlas regional do Estado de São Paulo**. v. 10, Presidente Prudente - SP, 1978.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Resolução SMA 32, de 03 de abril de 2014**. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Diário Oficial, São Paulo, 03 abr. 2014.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Instituto de Botânica. **Listagem das espécies arbóreas e indicação de sua ocorrência natural nos biomas / ecossistemas e regiões ecológicas do Estado de São Paulo, com a classificação sucessional e a categoria de ameaça de extinção**, 2014. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/cbrn/files/2014/04/2012_Lista-de-especies-arboreas-nativas-regionais_SP_IBot.pdf Acesso em: 09 jul. 2014.

SCATENA, F.; DOHERTY, S.J.; ODUM, H.T.; KHARECHA, P. **An Emergy evaluation of Puerto Rico and the Luquillo experimental forest**. U. S. Departament os Agriculture Forest Service/International Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras - PR, 2002.

SCIENCEMAN, D. Energy and Emergy. In: PILLET, G.; LEIMGRUBER, T.M.R. (Ed.). **Environmental Economics**, Geneva. p. 257-276, 1987.

SILVA, G.F. da. **Análise de custos operacionais e eficiência gerencial para conjuntos trator-implemento em operações agrícolas**: Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônômica. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Departamento de Engenharia Rural. Piracicaba, 2009.

SILVEIRA, E.R.; DURIGAN, G. Recuperação de Matas Ciliares: Estrutura da floresta e regeneração natural aos dez anos em diferentes modelos de plantio na Fazenda Canaçu, Tarumã, SP. In: VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. (Org.) **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista – Resultados da cooperação Brasil-Japão**. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2004. p. 325-347.

SOUZA, F.M.; BATISTA, J.L.F. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, v.191, p.185-200, 2004.

TILLEY, D.R. **Emergy-based environmental accounting of ecosystem services in rural and urban areas**. Working paper 2006-1. College Park, MD: University of Maryland, Department of Environmental Science and Technology, 2006.

TILLEY, D.R. **Emergy Basis of Forest Systems**. PhD Dissertation (Phislosophy). University of Florida, Gainesville, 1999.

TILLEY, D.R. ; SWANK, W.T. EMERGY-based environmental systems assessment of a multi-purpose temperate mixed-forest watershed of the southern Appalachian Mountains, USA. **Journal of Environmental Management**, , v.69, n.3, 2003.

ULGIATI, S.;BROWN, M. T. Emergy and ecosystem complexity. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, v. 14, n.1, 2009.

UHL, C.; NEPSTAD, D.; BUSCHBACHER, R.; CLARK, K.; KAUFMAN, B.; SUBLER,S. Studies of ecosystem response to natural and anthropogenic disturbances provide guidelines for designing sustainable land-use systems in Amazonia. In: ANDERSON, A. (Ed.) **Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon rain forest**. New York: Columbia University Press, 1990. p. 24-42.

RAMOS, V.S.; DURIGAN, G.; FRANCO, G.A.D.C.; SIQUEIRA, M.F. **Árvores da floresta estacional semidecidual: guia de identificação de espécies**. São Paulo: EDUSP; Biota/FAPESP, 2008. 320p.

VOORA, V. ; THRIFT, C. **Using Emergy to Value Ecosystem Goods and Services**. Published by the International Institute for Sustainable Development. Manitoba,Canada, 2010.

WATANABE, M.D.B. **Mata nativa e cana-de-açúcar: cálculo do valor dos serviços ecossistêmicos vinculados aos ciclos da água, do carbono, e do nitrogênio utilizando a análise emergética**. 2008. 223p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

YEATES, G.W. ; BONGERS, T. Nematode diversity in agroecosystems. **Agriculture, ecosystems and Environment**. v.74, p.113-135, 1999.

YEATES G.W; BONGERS, T.; DE GOEDE, R.G.M.; FRECKMAN, D.W.;
GEORGIEVA, S.S. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline
for soil ecologists. J. Nematol, v.25, p.315–331, 1993 e Bongers, T.; Bongers, M.
Functional diversity of nematodes. Applied Soil Ecology, v.10, p.239-251, 1998.

ANEXOS

ANEXO 01

MEMORIAL DE CÁLCULOS E PROCEDIMENTOS PARA A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE COM O MODELO LEIA-LARGEA 0-300 VERSÃO 32-04-08-07

O Software pode ser baixado no site do Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada da UNICAMP no seguinte endereço:

<http://www.unicamp.br/fea/ortega/sf300.xlsx>

O Software também estará disponível no site da empresa Consultoria Raízes, na aba “INFORMAÇÕES”. Disponível em: www.consultoriarazes.com.br

ABAS DO SOFTWARE LEIA-LARGEA 0-300 V.32-04-08-07

1 ABA APRESENTAÇÃO

2 ABA LEGENDA

Legenda:	
Célula Amarela	Entrada de dados
Célula Cinza	Valores utilizados na Avaliação Emergética
Número Verde	Dados primários (obtidos em campo/laboratório)
Número Azul	Dados secundários (obtidos na literatura)
Número Vermelho	Dados assumidos usando senso comum, por falta de referência
Número Negrito	Dados obtidos por operações aritméticas

Obs.: O usuário poderá simular novas análises trocando os dados das células amarelas.

3 ABA SOL

A Radiação Solar ($5,17 \text{ kWh/m}^2\text{.dia}$) foi obtida pelas coordenadas geográficas da região no site na NASA (2015), acessado em 04/05/2015. O albedo (coeficiente de reflexão “r”) é a relação (razão) entre a radiação solar incidente e a refletida. Seu valor está entre 0 e 100 (%) e no geral, superfícies secas e de cores claras refletem mais radiação que superfícies úmidas e escuras (PEREIRA et al., 2002)

Os valores de referência para a estimativa do Albedo para todas as áreas de estudo foi obtido na literatura (PEREIRA et al., 2002), com o valor mínimo do albedo para floresta tropical (10 %) que foi considerado para a área de estudo com 200 anos, e o valor máximo para pastagem (30 %) que foi considerado para a área de estudo com 1 ano. Estes valores foram interpolados para encontrar os valores de albedo para as áreas de restauração ecológica e floresta nativa, pelo Modelo ExpDec1, como mostra a Figura 1. Os valores estão na Tabela 1 e as equações descritas em Roncon (2011). Os gráficos ilustram a interpolação de dados do albedo e o comportamento da energia do sol em função das áreas de estudo.

Tabela 1. Média da incidência da energia solar por m^2

Mês	$\text{kWh/m}^2\text{.dia}$
Jan	5,8
Feb	5,69
Mar	5,35
Apr	4,93
May	4,05
Jun	3,84
Jul	4,2
Aug	4,81
Sep	4,99
Oct	5,59
Nov	6,09
Dec	5,96
média	5,17

Tabela 2. Interpolação do albedo

Idade (ano)	Albedo (%)
0	30,00
1	29,99
2	29,93
3	29,76
4	29,43
5	28,92
6	28,21
7	27,30
8	26,22
9	25,02
10	23,74
11	22,45
12	21,19
13	20,00
14	18,89
15	17,89
16	16,98
17	16,18
18	15,47
19	14,85
20	14,31
21	13,83
22	13,42
23	13,06
24	12,74
25	12,47
26	12,22
27	11,77
28	11,42
29	11,08
30	10,73
31	10,39
32	10,04
Restauração avançada	10,00
Floresta natural/primária	10,00

Tabela 3. Cálculo da energia aproveitada e conversão de unidades

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	kWh/m ² .dia [3]	Albedo (%) [4]	kWh/ha.ano [5]	J/ha.ano [6]	J/ha.Inv. [7]
C1,5A	1	5,17	30,0000	1,89E+07	4,76E+13	4,76E+13
RF1,5A	1,5	5,17	29,9909	1,89E+07	4,76E+13	7,13E+13
C5A	1	5,17	30,0000	1,89E+07	4,76E+13	4,76E+13
RF5A	5	5,17	28,9233	1,89E+07	4,83E+13	2,41E+14
C8A	1	5,17	30,0000	1,89E+07	4,76E+13	4,76E+13
RF8A	8	5,17	26,2200	1,89E+07	5,01E+13	4,01E+14
C14A	1	5,17	30,0000	1,89E+07	4,76E+13	4,76E+13
RF14A	14	5,17	18,8929	1,89E+07	5,51E+13	7,71E+14
C20A	1	5,17	30,0000	1,89E+07	4,76E+13	4,76E+13
RF20A	20	5,17	14,3091	1,89E+07	5,82E+13	1,16E+15
C26A	1	5,17	30,0000	1,89E+07	4,76E+13	4,76E+13
RF26A	26	5,17	12,2222	1,89E+07	5,96E+13	1,55E+15
CFN	1	5,17	30,0000	1,89E+07	4,76E+13	4,76E+13
FN	200	5,17	10,0000	1,89E+07	6,11E+13	1,22E+16

$$[5] \text{ Conversão} = \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \times \frac{1\text{E}4 \text{ m}^2}{\text{ha}} \times \frac{365 \text{ dias}}{\text{ano}} = \frac{\text{kWh}}{\text{ha.ano}}$$

$$[7] \text{ Conversão} = \frac{\text{kWh}}{\text{ha.ano}} \times \frac{3,6\text{E}6 \text{ J}}{1\text{kWh}} \times \frac{(100 - 15)}{100} = \frac{\text{J}}{\text{ha.ano}}$$

4 ABA CHUVA

O valor da chuva foi considerado o mesmo para todos os sistemas de estudo. As Equações 11, 12 e 13 foram empregadas na conversão dos valores apresentados na Tabela 4. Os gráficos ilustram o comportamento da energia da chuva em função das áreas de estudo.

Tabela 4. Energia da chuva

Mês	mm/m ² .ano [10]	m ³ /ha.ano [11]	kg/ha.ano [12]	J/ha.ano [13]
Janeiro	132,00			
Fevereiro	156,00			
Março	128,00			
Abril	85,00			
Maio	103,00			
Junho	72,00			
Julho	37,00			
Agosto	50,00			
Setembro	118,00			
Outubro	129,00			
Novembro	125,00			
Dezembro	212,00			
soma	1347,00	13.470,00	13.470.000,00	6,65E+10

[10] Faria (2006)

[11] (mm/m²) x (10000m/ha) / (1000 mm/m)

$$[12] \text{ Conversão} = \frac{\text{m}^3}{\text{ha.ano}} \times \frac{1\text{E3 kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{ha.ano}}$$

$$[13] \text{ Conversão} = \frac{\text{kg}}{\text{ha.ano}} \times \frac{4940 \text{ J}}{\text{kg}} = \frac{\text{J}}{\text{ha.ano}}$$

Tabela 5. Energia da chuva incidida por área de estudo

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	J/ha.ano [13]	J/ha.Inv. [14]
C1,5A	1	6,65E+10	6,65E+10
RF1,5A	1,5	6,65E+10	9,98E+10
C5A	1	6,65E+10	6,65E+10
RF5A	5	6,65E+10	3,33E+11
C8A	1	6,65E+10	6,65E+10
RF8A	8	6,65E+10	5,32E+11
C14A	1	6,65E+10	6,65E+10
RF14A	14	6,65E+10	9,32E+11
C20A	1	6,65E+10	6,65E+10
RF20A	20	6,65E+10	1,33E+12
C26A	1	6,65E+10	6,65E+10
RF26A	26	6,65E+10	1,73E+12
CFN	1	6,65E+10	6,65E+10
FN	200	6,65E+10	1,33E+13

[13] Energia livre de Gibbs = 4940 J/kg (ODUM, 2000)

5 ABA VENTO

A velocidade média sazonal do vento foi obtida em Faria (2006) e o cálculo da média anual e sua conversão foi realizada pela equação da tabela 6. E a energia investida por área é apresentada na Tabela 7. Os gráficos ilustram o comportamento da energia do vento em função das áreas de estudo.

$$[6] \text{ Conversão} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^3 \times 0,001 \times \frac{1\text{E}4 \text{ m}^2}{\text{ha}} \times \frac{31,56\text{E}6 \text{ s}}{\text{ano}} = \frac{\text{J}}{\text{ha.ano}}$$

Tabela 6. Conversão da energia do vento

Mês	m/s [15]	J/ha.ano [16]
Janeiro	1,24	
Fevereiro	1,18	
Março	1,07	
Abril	1,17	
Maio	0,90	
Junho	0,87	
Julho	0,98	
Agosto	1,03	
Setembro	1,12	
Outubro	1,20	
Novembro	1,20	
Dezembro	1,17	
média	1,15	6,16E+08

Densidade do ar = 1,3 kg/m³ (RODRIGUEZ et al., 2002).

Coefficiente de arraste = 0,001 adimensional (RODRIGUEZ et al., 2002).

Tabela 7. Energia do vento investida por área

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	J/ha.ano [16]	J/ha.Inv. [17]
C1,5A	1	6,16E+08	6,16E+08
RF1,5A	1,5	6,16E+08	9,24E+08
C5A	1	6,16E+08	6,16E+08
RF5A	5	6,16E+08	3,08E+09
C8A	1	6,16E+08	6,16E+08
RF8A	8	6,16E+08	4,93E+09
C14A	1	6,16E+08	6,16E+08
RF14A	14	6,16E+08	8,62E+09
C20A	1	6,16E+08	6,16E+08
RF20A	20	6,16E+08	1,23E+10
C26A	1	6,16E+08	6,16E+08
RF26A	26	6,16E+08	1,60E+10
CFN	1	6,16E+08	6,16E+08
FN	200	6,16E+08	1,23E+11

6 ABA SOERGUIMENTO GEOLÓGICO

Soerguimento é definido como a elevação da superfície terrestre devido processos geológicos. Os soerguimentos da crosta terrestre aumentam a energia dos agentes erosivos, visto que uma região mais elevada apresenta gradientes topográficos maiores e com isto as áreas são desbastadas mais rapidamente do que antes do soerguimento. Se o soerguimento ocorre junto ao litoral, serão expostas planícies costeiras com sedimentos e rochas sedimentares recentes caracterizando, associadamente, uma fase regressiva dos mares (<http://ig.unb.br/glossario/verbete/soerguimento.htm>).

Visto sua importância no aporte de energia no ecossistema, ele foi caracterizado neste trabalho como fonte de energia dos “processos geológicos” que atuam sobre o solo e geram um estoque de “formação geológica” contribuindo com a

formação do estoque de “estruturas, organizações e processos ecossistêmicos”. Neste trabalho, o processo geológico foi calculado aplicando a Equação da Tabela 8, os valores foram considerados para todos os sistemas de estudo e são apresentados na Tabela 9. Os gráficos ilustram o comportamento da energia do vento em função das áreas de estudo

Tabela 8. Energia do soerguimento

J/ano na área da crosta terrestre (a)	Área da crosta terrestre em ha (b)	J/ha.ano [20]
6,71E+20	1,49E+10	4,49E+10

^aValor extraído de Odum (2000);

^bValor extraído do site do IBGE;

$$[20] \text{ Equação} = \frac{6,71E + 20}{1,49E + 10} = 4,49E + 10 \frac{J}{ha.ano}$$

Tabela 9. Energia do soerguimento por área de estudo

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	J/ha.ano [20]	J/ha.Inv. [21]
C1,5A	1	4,49E+10	4,49E+10
RF1,5A	1,5	4,49E+10	6,74E+10
C5A	1	4,49E+10	4,49E+10
RF5A	5	4,49E+10	2,25E+11
C8A	1	4,49E+10	4,49E+10
RF8A	8	4,49E+10	3,59E+11
C14A	1	4,49E+10	4,49E+10
RF14A	14	4,49E+10	6,29E+11
C20A	1	4,49E+10	4,49E+10
RF20A	20	4,49E+10	8,98E+11
C26A	1	4,49E+10	4,49E+10
RF26A	26	4,49E+10	1,17E+12
CFN	1	4,49E+10	4,49E+10
FN	200	4,49E+10	8,98E+12

7 ABA ÁGUA DA NESCENTE

Esta aba foi incluída para simulação, quando a nascente volta a aflorar água em função da cobertura florestal. A Tabela 10 está programada para realizar as conversões de unidades. Ao simular a vazão, os gráficos irão responder. As equações empregadas seguem abaixo da Tabela.

Tabela 10. Simulação da água da nascente

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Vazão (L/s) [22]	Vazão (L/ano) [23]	Vazão (m ³ /ano) [24]	Vazão (kg/ano) [25]	Energia (J/ha.ano) [26]
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
Sigla	Idade	0,00	-	-	-	0,0E+00
H ₂ O Nascente	Volume utilizado no projeto	0,00	-	-	-	0,0E+00

A vazão (L/s) de cada nascente deverá ser mensurada em campo.

$$[23] \text{ Conversão da vazão das nascentes} = \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \times \frac{365 \text{ dias}}{\text{ano}} = \frac{\text{L}}{\text{ano}}$$

$$[24] \text{ Conversão da vazão das nascentes} = \frac{\text{L}}{\text{ano}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}$$

$$[25] \text{ Conversão da vazão das nascentes} = \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{ano}}$$

$$[26] \text{ Energiada água das nascentes} = \frac{\text{kg}}{\text{ano}} \times \frac{5000 \text{ J}}{\text{kg}} = \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

8 ABAS DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) E METANO (CH₄)

Os gases, como o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂) são carregados pelas correntes de vento, água e vapor d'água, entre os diferentes ecossistemas. A quantidade destes gases se altera ao passar pelos sistemas, devido aos processos de metanotrofia e fotossíntese. Foram feitas estimativas destes fluxos a partir dos dados da literatura e dados obtidos em campo.

Na aba CO₂ a Tabela 11 apresenta os valores utilizados nas estimativas para a produtividade primária líquida (PPL), sem considerar o volume de serapilheira que é depositada no solo. Os valores da PPL em carbono foram multiplicados pela razão da massa atômica do carbono e do oxigênio, que compõem o dióxido de carbono para obter a massa da entrada de CO₂ no sistema (Tabela 12).

Tabela 11. Valores de serapilheira e biomassa verde nas áreas de estudo e suas conversões em unidades de C

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Serapilheira seca (kg/ha.ano)	Serapilheira seca (kgC/ha.ano)	Biomassa arbórea seca (kg/ha)	Biomassa arbórea seca (kgC/ha)	Biomassa seca total (kg/ha)	Biomassa seca total (kgC/ha)	PPL Biomassa verde (kgC/ha.ano)
C1,5A	1	-	-	-	-	-	-	-
RF1,5A	1,5	3.986,93	1.475,17	53.363,89	25.081,03	57.350,82	26.556,19	16.720,68
C5A	1	-	-	-	-	-	-	-
RF5A	5	8.618,53	3.188,86	58.125,20	27.318,85	66.743,74	30.507,70	5.463,77
C8A	1	-	-	-	-	-	-	-
RF8A	8	7.720,93	2.856,75	45.418,81	21.346,84	53.139,74	24.203,59	2.668,36
C14A	1	-	-	-	-	-	-	-
RF14A	14	10.923,13	4.041,56	93.001,64	43.710,77	103.924,77	47.752,33	3.122,20
C20A	1	-	-	-	-	-	-	-
RF20A	20	10.806,53	3.998,42	159.587,96	75.006,34	170.394,50	79.004,76	3.750,32
C26A	1	-	-	-	-	-	-	-
RF26A	26	11.695,53	4.327,35	161.806,53	76.049,07	173.502,07	80.376,42	2.924,96
CFN	1	-	-	-	-	-	-	-
FN	200	14.588,53	5.397,76	664.520,39	312.324,58	679.108,92	317.722,34	1.561,62

Massa atômica das espécies	
C	12,01070 uma
H	1,00794 uma
O	15,99940 uma
Razão C/O do CO ₂	
2,664191096	

Tabela 12. Conversão das unidades de carbono em unidades de dióxido de carbono. Estimativa dos valores totais (estoques) e fluxos anuais (PPL).

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Entrada de CO ₂ (kg/ha.ano)	Entrada de CO ₂ (kg/ha)
C1,5A	1	-	-
RF1,5A	1,5	48.477,22	66.820,65
C5A	1	-	-
RF5A	5	23.052,25	72.782,63
C8A	1	-	-
RF8A	8	14.719,92	56.872,06
C14A	1	-	-
RF14A	14	19.085,62	116.453,84
C20A	1	-	-
RF20A	20	20.644,11	199.831,23
C26A	1	-	-
RF26A	26	19.321,54	202.609,26
CFN	1	-	-
FN	200	18.541,12	832.092,37

A metanotrofia é um processo realizado por microrganismos metanotróficos que estão presentes em diferentes ecossistemas, eles são responsáveis pela oxidação do CH₄ em CO₂ e H₂O, processo representado pela Equação [CH₄ + O₂ = CO₂ + H₂O]. Solos aerados atuam geralmente como “dreno” de CH₄ atmosférico devido à comunidade metanotrófica do solo que utiliza este gás como fonte de C e energia. Portanto considera-se a entrada de metano para os sistemas analisados.

Na aba CH₄ a metanotrofia foi estimado de acordo com os procedimentos de Roncon (2011), a partir de dados da literatura e dados da serapilheira obtido em campo. Os dados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Estimativa da metanotrofia

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Serapilheira (kg/ha.ano)	Metanotrofia (mg CH ₄ /m ² .dia)	Metanotrofia (kg CH ₄ /ha.ano)	Metanotrofia (kg CH ₄ /ha.ano)
C1,5A	1			-	-
RF1,5A	1,5	3.986,93	3,83	13,97	55.678,46
C5A	1			-	-
RF5A	5	8.618,53	8,27	30,19	260.181,25
C8A	1			-	-
RF8A	8	7.720,93	7,41	27,04	208.808,84
C14A	1			-	-
RF14A	14	10.923,13	10,48	38,26	417.930,18
C20A	1			-	-
RF20A	20	10.806,53	10,37	37,85	409.055,34
C26A	1			-	-
RF26A	26	11.695,53	11,22	40,97	479.125,55
CFN	1			-	-
FN	200	14.588,53	14,00	51,10	745.474,05

9 ABA NITROGÊNIO FIXADO DA ATMOSFERA

O N₂ entra nos sistemas ao ser fixado pela biota no processo chamado de fixação biológica. Neste trabalho o fluxo de entrada de N (kg/ha.ano) foi considerado como N presente na serapilheira depositada, quantificado em laboratório para cada área.

O estoque de N (kg/ha) foi estimado por este fluxo mais 1% do valor do N fixado no solo, calculado pela Equação de Raij (1991) através do software LEIA 0-200 (Roncon, 2011), que possui as equações a seguir programadas.

$$(a) [\% \text{ MO}_{\text{solo}}] = \left(\frac{\left(\frac{\text{g MO}}{\text{m}^3} \times 100 \% \right)}{\left(\frac{\text{g solo}}{\text{m}^3} \right)} \right) = \%$$

$$(b) [N_2 \text{ solo}] = \left(\frac{\% \text{ MO}}{20} \right) = \% N_2$$

$$(c) [\% N_2 \text{ solo}] = \left(\frac{\left(\frac{g \text{ MO}}{dm^3} \times \% N_2 \right)}{(100 \%)} \right) = \frac{g N_2}{m^3}$$

$$(d) [N_2 \text{ solo}] = \left(\frac{g N_2}{(m^3)} \times \frac{kg}{1000 g} \times h \times m \times \frac{10000 m^2}{ha} \right) = \frac{kg N_2}{ha.ano}$$

Tabela 14. Deposição e nutrientes da serapilheira e valores totais de N (kg/ha)

Área	Idade da área (ano) [2]	Matéria seca (kg/ha.ano)	N	P (E-1)	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N
			kg/ha.ano										kg/ha
C1,5A	1												-
RF1,5A	1,5	3.986,93	89,71	5,06	5,50	57,49	15,91	0,20	0,04	0,98	1,00	0,06	135,90
C5A	1												-
RF5A	5	8.618,53	155,13	6,98	5,28	186,02	26,64	0,48	0,18	2,53	2,26	0,11	783,42
C8A	1												-
RF8A	8	7.720,93	150,56	4,86	10,65	82,37	20,11	0,39	0,09	1,63	1,71	0,13	1.216,51
C14A	1												-
RF14A	14	10.923,13	196,62	4,92	10,88	176,08	26,24	0,59	0,14	6,06	1,78	0,69	2.780,16
C20A	1												-
RF20A	20	10.806,53	232,34	8,10	19,05	218,68	21,79	0,61	0,10	3,27	1,05	0,76	4.693,28
C26A	1												-
RF26A	26	11.695,53	304,08	9,94	29,57	239,96	38,71	0,61	0,13	2,44	1,43	2,32	7.985,24
CFN	1												-
FN	200	14.588,53	350,12	10,36	48,07	390,42	54,41	0,88	0,20	2,90	2,12	0,48	70.725,21

10 ABA NUTRIETES DO SOLO PROFUNDO

A porção aérea da floresta se desenvolve apoiada ao solo, com o desenvolvimento das raízes, estruturas que atuam em processos de fragmentação das rochas e absorção de nutrientes solubilizados por fungos e bactérias que vivem em simbiose com as raízes. Algumas raízes podem chegar até altura da planta em profundidade, absorvendo água e nutrientes do solo profundo, fixados na biomassa e ciclados pela serapilheira nos horizontes mais superficiais do solo.

Estes nutrientes são considerados como entrada no sistema, já que são provenientes dos horizontes mais profundos que os amostrados neste trabalho (0,6 m). As dificuldades metodológicas para a determinação destes fluxos não permitiram sua quantificação, mas sua importância foi considerada assumindo um valor de 1% (Tabela 15) dos nutrientes totais da serapilheira quantificada neste estudo (Tabela 14). Esta quantidade é tida como aceitável pelo Prof. Dr. José C. Casagrande, responsável pelo Laboratório de Fertilidade de Solos do CCA/UFSCar.

A conversão das unidades usuais de medidas de concentração dos nutrientes, no solo e na serapilheira, fornecidas pelos laboratórios foram convertidas utilizando o software LEIA 0-200 (RONCON, 2011) que possui estas equações programadas. A Tabela 16 apresenta a estimativa da entrada total, para cada área de estudo, dos nutrientes do solo profundo.

Tabela 15. Entrada de nutrientes do solo profundo

Área	Idade da área (ano) [2]	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
kg/ha.ano											
C1,5A	1										
RF1,5A	1,5	0,8971	0,0506	0,0550	0,5749	0,1591	0,0020	0,0004	0,0098	0,0100	0,0006
C5A	1										
RF5A	5	1,5513	0,0698	0,0528	1,8602	0,2664	0,0048	0,0018	0,0253	0,0226	0,0011
C8A	1										
RF8A	8	1,5056	0,0486	0,1065	0,8237	0,2011	0,0039	0,0009	0,0163	0,0171	0,0013
C14A	1										
RF14A	14	1,9662	0,0492	0,1088	1,7608	0,2624	0,0059	0,0014	0,0606	0,0178	0,0069
C20A	1										
RF20A	20	2,3234	0,0810	0,1905	2,1868	0,2179	0,0061	0,0010	0,0327	0,0105	0,0076
C26A	1										
RF26A	26	3,0408	0,0994	0,2957	2,3996	0,3871	0,0061	0,0013	0,0244	0,0143	0,0232
CFN	1										
FN	200	3,5012	0,1036	0,4807	3,9042	0,5441	0,0088	0,0020	0,0290	0,0212	0,0048

Considerando que 1% dos nutrientes da serapilheira é absorvido no subsolo

Tabela 16. Estimativa das entradas totais para cada área de estudo

Área	Idade da área (ano) [2]	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
kg/ha											
C1,5A	1										
RF1,5A	1,5	1,3456	0,0760	0,0825	0,8623	0,2386	0,0031	0,0006	0,0147	0,0149	0,0009
C5A	1										
RF5A	5	7,7567	0,3491	0,2642	9,3010	1,3321	0,0241	0,0088	0,1265	0,1130	0,0053
C8A	1										
RF8A	8	12,0447	0,3891	0,8520	6,5894	1,6084	0,0309	0,0069	0,1307	0,1369	0,0100
C14A	1										
RF14A	14	27,5263	0,6882	1,5234	24,6507	3,6738	0,0826	0,0193	0,8487	0,2499	0,0963
C20A	1										
RF20A	20	46,4681	1,6210	3,8092	43,7353	4,3572	0,1210	0,0207	0,6540	0,2096	0,1513
C26A	1										
RF26A	26	79,0618	2,5847	7,6895	62,3889	10,0640	0,1581	0,0328	0,6331	0,3716	0,6021
CFN	1										
FN	200	700,2496	20,7157	96,1390	780,8483	108,8188	1,7506	0,3910	5,7946	4,2307	0,9570

Valores obtidos pela multiplicação do fluxo pela idade da área, de acordo com Odum et al. (2000).

11 ABA RESTAURAÇÃO

Os materiais e serviços investidos nas operações de restauração ecológica foram obtidos em campo, na literatura e alguns valores precisaram ser assumidos para concluir a elaboração do modelo. É importante o usuário saber que estes valores podem ser “trocados” por valores mais precisos, o que levará a uma nova simulação. As Tabelas 17 a 22 apresentam os dados gerais de referência utilizados no modelo.

Tabela 17. Dados gerais utilizados para modelar o processo de restauração ecológica

Ref.	Dados de referência - importante	Unidade	Valor
1	Potência nominal do trator	hp	80,000
2	Fator de consumo médio do trator	Litros/h.hp*	0,275
3	Consumo do trator	L/h	22,000
4	Custo do trator	US\$/unidade	27.649,770
5	Custo - manutenção do trator	US\$/unidade	27.649,770
6	Vida útil do trator	horas	10.000,000
7	Depreciação do trator	US\$/h	5,53
8	Custo do veículo	US\$/unidade	15.799,868
9	Custo - manutenção do veículo	US\$/unidade	15.799,868
10	Vida útil do veículo	km	200.000,000
11	Depreciação do veículo	US\$/km	0,158
12	Consumo do veículo	km/L	8,000
13	Mudas florestais - plantio	unid/ha	1.667,000
14	Mudas florestais - replantio	unid/ha	166,700
15	Custo da muda	US\$/unid.	0,395
16	Deslocamento (ida e volta) para - RF1,5A	km	40,000
17	Deslocamento (ida e volta) para - RF5A	km	40,000
18	Deslocamento (ida e volta) para - RF8A	km	30,000
19	Deslocamento (ida e volta) para - RF14A	km	20,000
20	Deslocamento (ida e volta) para - RF20A	km	16,000
21	Deslocamento (ida e volta) para - RF26A	km	52,000
22	Erosão do solo - pastagem	kg/ha.ano	400,000
23	Erosão do solo - reflorestamento	kg/ha.ano	40,000
24	Erosão do solo - floresta natural	kg/ha.ano	4,000
25	Cerca	US\$/m	3,160
26	Metros de cerca construído	m/ha	100

1, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 15 Considerado para este trabalho

2, 6 Pacheco (2000)

3 Calculado neste trabalho (L/h.hp x L/h)

7 Calculado neste trabalho (R\$ do trator + R\$ manutenção) / h de vida útil

11 Calculado neste trabalho (R\$ do trator + R\$ manutenção) / km de vida útil

13 Calculado neste trabalho (10000m²/ha / 6m²muda = 1667 mudas)

14 Considerado para este trabalho 10% do plantio

16-21 Calculado neste trabalho (em campo)

22 Erosão para áreas de pastagem - início do reflorestamento (COSTA, 1985)

23 Erosão para áreas de reflorestamento (COSTA, 1985)

24 Erosão para áreas de floresta natural (COSTA, 1985)

25 Custo do metro de cerca feito - valor de mercado

Tabela 18. Estimativa da utilização do trator

Ref.	Atividade - Utilização do trator	Unidade	Valor
Implantação			
1	Limpeza da área mecanizada	hM/ha	3,00
2	Aplicação de herbicida	hM/ha	1,50
3	Abertura de sulco (subsolador)	hM/ha	3,00
4	Adubação de base	hM/ha	1,50
5	Calagem	hM/ha	1,50
6	Plantio (área total)	hM/ha	1,50
7	Irrigação - plantio	hM/ha	5,00
Manutenção 1o ano			
8	Replantio	hM/ha	0,25
9	Adubação de cobertura	hM/ha	1,00
10	Irrigação - replantio	hM/ha	0,50
11	Total de horas 1o ano	hM.ha.ano	18,75
12	Combustível gasto 1o ano	L/ha.ano	412,50

1-9 Rodrigues (2009)

10 Estimado para este trabalho (10% do utilizado no plantio)

11 Estimado para este trabalho (total de horas máquina x consumo do trator)

Tabela 19. Estimativa da utilização do veículo

Ref.	Atividade - Utilização do veículo	Áreas		RF1,5A	RF5A	RF8A	RF14A	RF20A	RF26A
		Operações							
1	Diagnóstico ambiental	km	1	40	40	30	20	16	52
2	Elaboração do projeto	km	1	40	40	30	20	16	52
3	Monitoramento	km	1	40	40	30	20	16	52
	Implantação								
4	Limpeza da área	km	1	40	40	30	20	16	52
5	Controle de formigas (pré/pós plantio)	km	2	80	80	60	40	32	104
6	Aplicação de herbicida	km	1	40	40	30	20	16	52
7	Abertura de covas	km	1	40	40	30	20	16	52
8	Adubação de base	km	1	40	40	30	20	16	52
9	Plantio	km	1	40	40	30	20	16	52
10	Irrigação - plantio	km	3	120	120	90	60	48	156
11	Compra de mudas (visita no viveiro)	km	1	40	40	30	20	16	52
	Manutenção 1o ano								
12	Replântio	km	1	40	40	30	20	16	52
13	Irrigação - replântio	km	3	120	120	90	60	48	156
14	Controle de formigas (repassse)	km	1	40	40	30	20	16	52
15	Aplicação de herbicida	km	3	120	120	90	60	48	156
16	Adubação de cobertura	km	1	40	40	30	20	16	52
	Manutenção 2o ano								
17	Controle de formigas (repassse)	km	1	40	40	30	20	16	52
18	Aplicação de herbicida	km	4	160	160	120	80	64	208
19	Monitoramento (2o ano)	km	1	40	40	30	20	16	52
20	Monitoramento (4o ano)	km	1	40	40	30	20	16	52
21	Monitoramento (6o ano)	km	1	40	40	30	20	16	52
22	Deslocamento 1o ano	km		920	920	690	460	368	1196
23	Deslocamento 2o ano	km		240	240	180	120	96	312
24	Deslocamento 4o ano	km		40	40	30	20	16	52
25	Deslocamento 6o ano	km		40	40	30	20	16	52
26	Combustível 1o ano	litros		115	115	86	58	46	150
27	Combustível 2o ano	litros		30	30	23	15	12	39
28	Combustível 4o ano	litros		5	5	4	3	2	7
29	Combustível 6o ano	litros		5	5	4	3	2	7

1-21 Estimado para este trabalho a partir do deslocamento em campo (ida e volta na área x No operação para cada atividade)

22-25 Calculado neste trabalho (soma total de km para cada ano)

26-29 Calculado neste trabalho (km rodado no ano / consumo do veículo)

Tabela 20. Estimativa dos serviços

Ref.	Atividade - Mão de obra		Operações	Valor	Totais
1	Diagnóstico ambiental - especializada	H/H.ha	1	8,0	8
2	Elaboração do projeto - especializada	H/H.ha	1	40,0	40
3	Monitoramento - especializada	H/H.ha	1	40,0	40
	Implantação				
4	Limpeza da área mecanizada	H/H.ha	1	3,0	3
5	Controle de formigas (pré/pós plantio)	H/H.ha	2	1,0	2
6	Aplicação de herbicida	H/H.ha	1	1,5	1,5
7	Abertura de sulco (subsolador)	H/H.ha	1	3,0	3
8	Aducação de base	H/H.ha	1	8,0	8
	Calagem	H/H.ha	1	3,0	3
9	Plantio em área total	H/H.ha	1	16,0	16
10	Irrigação - plantio	H/H.ha	3	9,0	27
11	Compra de mudas (visita no viveiro - esp.)	H/H.ha	1	8,0	8
	Manutenção 1o ano				
12	Replanteio	H/H.ha	1	2,0	2
13	Irrigação - replanteio	H/H.ha	3	3,0	9
14	Controle de formigas (repassse)	H/H.ha	1	1,0	1
15	Aplicação de herbicida	H/H.ha	3	16,0	48
16	Aducação de cobertura	H/H.ha	1	8,0	8
	Manutenção 2o ano				
17	Controle de formigas (repassse)	H/H.ha	1	1,0	1
18	Aplicação de herbicida	H/H.ha	4	16,0	64
19	Monitoramento (2o ano) - especializada	H/H.ha	1	40,0	40
20	Monitoramento (4o ano) - especializada	H/H.ha	1	40,0	40
21	Monitoramento (6o ano) - especializada	H/H.ha	1	40,0	40
			h/trabalhada	J/ha.ano	
22	Mão de obra 1o ano	H/H.ha	131,5	5,88E+07	
23	Mão de obra 2o ano	H/H.ha	65	2,91E+07	
24	Mão de obra especializada 1o ano	H/H.ha	96	4,29E+07	
25	Mão de obra especializada 2o ano	H/H.ha	40	1,79E+07	
26	Mão de obra especializada 4o ano	H/H.ha	40	1,79E+07	
27	Mão de obra especializada 6o ano	H/H.ha	40	1,79E+07	

6, 8, 9, 10, 12, 15 Rodrigues (2009)

Os demais dados foram coletados em campo, mediante entrevista com funcionários da CESP/APOENA

O número de operações foram coletados em campo, mediante entrevista com funcionários da CESP/APOENA

Tabela 21. Dados para conversão em energia de serviços, combustível e água

Energia da mão de obra	
3,82E+09	J/ind.ano - Odum (1996)
4,47E+05	J/ind.hora - Este trabalho
Energia do combustível (inclui diesel, gasolina e lubrificantes)	
7,50E-01	kg/L - Odum (1996)
Energia da água	
4,940	J/kg (Energia livre de Gibbs) - Odum (1996)

Tabela 22. Dados utilizados para quantificar os insumos utilizados

Ref.	Atividade - Insumos	Operações	Valor	Totais
Implantação				
1	Controle de formigas (pré/pós plantio)	kg/ha	2	3,5
2	Aplicação de herbicida	kg/ha	1	3,5
3	Adubação de base	kg/ha	1	175,0
4	Calagem	kg/ha	1	300,0
5	Água - irrigação de plantio	L/ha	3	6700,0
6	Água - aplicação de herbicida	L/ha	1	1200,0
Manutenção 1o ano				
7	Água - irrigação de replantio	L/ha	3	670,0
8	Água - aplicação de herbicida	L/ha	3	1200,0
9	Controle de formigas (repasse)	kg/ha	1	2,0
10	Aplicação de herbicida	kg/ha	3	3,0
11	Adubação de cobertura	kg/ha	1	85,0
Manutenção 2o ano				
12	Água - aplicação de herbicida	L/ha	4	1200,0
13	Controle de formigas (repasse)	kg/ha	1	2,0
14	Aplicação de herbicida	kg/ha	4	3,0

1-5, 9-11, 13-14 Rodrigues (2009)

Os demais dados foram coletados em campo, mediante entrevista com funcionários da CESP/APOENA

O número de operações foram coletados em campo, mediante entrevista com funcionários da CESP/APOENA

Tabela 23. Dados de entrada para as operações de restauração

Nº	Item	Unidade	1o ano	2o ano	4o ano	6o ano
I - Recursos da Natureza Renováveis						
19	Água - irrigação plantio/replanteio	J/ha.ano	1,09E+08			
IN - Recursos da Natureza Não Renováveis						
20	Erosão do solo	kg/ha.ano	400,00	400,00		
21	Água - aplicação de herbicida	J/ha.ano	2,37E+07	2,37E+07		
F - Recursos da Economia						
Materiais						
22	Mudas florestais - plantio/replanteio	US\$/ha.ano	724,31			
23	Herbicida	kg/ha.ano	12,50	12,00		
24	Formicida	kg/ha.ano	9,00	2,00		
25	Adubo químico	kg/ha.ano	260,00			
26	Calcário	kg/ha.ano	300,00			
27	Depreciação - trator	US\$/ha.ano	103,69			
28	Depreciação - veículo	US\$/ha.ano	145,36	37,92		
29	Combustível	kg/ha.ano	3,96E+02	22,50		
30	Cerca	US\$/ha.ano	3,16E+02			
Serviços						
31	Mão de obra	HH/ha.ano	5,88E+07	2,91E+07		
32	Mão de obra especializada	HH/ha.ano	4,29E+07	1,79E+07		

Os valores foram estimados, calculados e simulados para apenas 2 anos de atividades, de acordo com as atividades normais de operação da CESP.

12 ABA EMDÓLAR – EmUSD – EmR\$

O emdólar (EmUSD ou EmUS\$) é obtido através da razão energia/dinheiro, onde a energia contabiliza todas as fontes energéticas usadas pelo sistema natureza-economia humana do país em determinado ano, e o dinheiro é o produto nacional bruto (PNB) expresso em dólares na taxa média anual. Em Odum (1996) e Sweeney et al. (2006) encontram-se os valores do emdólar para diversos países. Para este estudo foi empregado o valor apresentado na Tabela 24, que também apresenta a cotação do dólar para o Brasil, utilizado na discussão dos resultados.

Tabela 24. Emdólar utilizado para este estudo

1	3,7975	R\$/US\$
2	3,30E+12	Em/US\$ EmDólar

1 Cotação dólar - Banco Central do Brasil para o dia 10/11/2015

<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>

2 EmDólar para o Brasil - Calculado por Coelho, Ortega e Comar (2003)

13 ABA AVALIAÇÃO EMERGÉTICA

O dados calculados/estimados até a Tabela 24 são inseridos na aba “AVALIAÇÃO EMERGÉTICA” do software manualmente, na coluna 4. Nesta aba é realizada a Avaliação Emergética das entradas dos sistemas de estudo e estão apresentadas no item resultados e discussão deste estudo.

As transformidades utilizadas estão na tabela 25 e a fração renovável dos recursos da economia e da natureza foi assumida para as mudas em 0,5 de renovabilidade, valor médio devido a falta desta informação na literatura, os demais fatores foram obtidos em Ortega et al. (2010).

Tabela 25. Transformidades empregadas na avaliação emergética

1 Odum (2000)	17 Cohen (2007)
2 Roncon (2011)	18 Cohen (2007)
3 Odum (2000)	19 Ortega (2011)
4 Odum (2000)	20 Roncon (2011)
5 Buenfil (2001)	21 Ortega (2011)
6 Ukiawe (2005)	22 Emdólar
7 Ulgiati e Tabacco (2001)	23 Odum (1996)
8 Ortega (2011)	24 Brown e Ulgiati (2004)
9 Ortega (2011)	25 Ortega
11 Cohen (2007)	26 Brandt-Williams (2002)
12 Cohen (2007)	27 Emdólar
13 Cohen (2003)	28 Emdólar
14 Cohen (2003)	29 Ortega (2011)
15 Cohen (2007)	30 Odum (1996)
16 Cohen (2007)	31 Odum (1996)
	32 Emdólar

14 ABA RESTAURA BENS

Esta aba apresenta a diferença entre os estoques analisados nas áreas de estudo: nutrientes do solo, biomassa, estoque de espécies e estrutura do solo.

Tabela 26. Diferença do estoque de nutrientes do solo

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Perfil (cm)	P Resina mg/dm3	M.O. g/dm3	K mmolc/dm3	Ca mmolc/dm3	Mg mmolc/dm3	S mmolc/dm3	B mmolc/dm3	Cu mg/dm3	Fe mg/dm3	Mn mg/dm3	Zn mg/dm3
RF1,5A	1,5	0-5	2,00	1,00	0,40	3,44	1,43	-	0,05	0,03	3,47	16,80	0,57
		5-20	-	6,00	1,00	0,70	1,43	1,00	0,03	0,22	3,63	1,80	0,42
		20-40	-	2,00	1,40	1,96	1,21	1,00	0,03	0,27	1,62	2,60	1,07
		40-60	-	-	1,30	0,05	1,23	2,00	0,01	0,47	0,08	8,80	0,16
RF5A	5	0-5	3,00	3,00	0,10	6,10	2,26	1,00	0,06	0,07	1,23	7,30	1,09
		5-20	-	7,00	0,50	1,48	0,42	1,00	0,02	0,31	2,24	12,50	0,46
		20-40	-	3,00	0,30	1,95	0,14	3,00	0,09	0,44	2,24	14,70	1,11
		40-60	-	1,00	0,10	0,48	0,31	5,00	0,09	0,50	1,12	17,70	0,03
RF8A	8	0-5	-	4,00	1,10	2,00	1,00	-	0,04	1,00	7,00	5,90	0,70
		5-20	-	1,00	0,70	2,00	1,00	-	0,02	0,10	3,00	4,90	0,40
		20-40	-	1,00	0,70	-	1,00	-	0,06	0,10	2,00	0,30	-
		40-60	-	1,00	0,90	1,00	-	1,00	-	0,10	2,00	8,30	-
RF14A	14	0-5	1,00	3,00	0,60	4,00	1,00	1,00	0,01	0,50	1,00	4,20	0,50
		5-20	1,00	1,00	0,60	6,00	1,00	3,00	0,09	0,30	4,00	2,80	0,30
		20-40	-	-	0,70	7,00	-	2,00	0,05	0,10	1,00	22,70	0,10
		40-60	-	1,00	0,20	6,00	2,00	2,00	0,02	0,10	1,00	3,10	0,30
RF20A	20	0-5	7,00	23,00	1,10	32,00	9,00	3,00	0,10	5,90	1,00	33,30	4,10
		5-20	4,00	14,00	1,80	10,00	8,00	1,00	0,07	6,90	7,00	73,40	5,90
		20-40	3,00	6,00	0,50	9,00	6,00	3,00	0,12	3,10	2,00	17,90	5,00
		40-60	4,00	2,00	0,50	11,00	4,00	1,00	0,02	5,40	1,00	3,80	1,10
RF26A	26	0-5	5,00	10,00	0,50	13,00	3,00	2,00	0,05	0,50	10,00	24,30	0,30
		5-20	3,00	4,00	0,10	3,00	3,00	3,00	0,01	0,20	6,00	20,90	0,10
		20-40	1,00	2,00	0,30	1,00	1,00	2,00	0,23	0,20	4,00	12,60	0,30
		40-60	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	0,11	0,50	-	12,10	0,10
FN	200	0-5	23,00	43,00	2,30	52,00	10,00	18,00	0,53	1,00	8,00	76,60	6,00
		5-20	7,00	16,00	1,50	26,00	6,00	6,00	0,17	3,90	7,00	83,10	3,00
		20-40	3,00	8,00	0,60	14,00	4,00	5,00	0,11	5,40	7,00	41,40	1,20
		40-60	2,00	5,00	0,70	11,00	4,00	19,00	0,04	4,10	-	24,50	0,60

Tabela 27. Estoques de nutrientes do solo restaurados

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Perfil (m)	P Resina	M.O.	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
kg/ha													
RF1,5A	1,5	0 - 0,6	1,00	1.500,00	260,00	34,47	70,84	7,50	0,07	1,83	10,57	33,90	1,24
RF5A	5	0 - 0,6	1,50	4.500,00	62,56	80,35	32,50	18,00	0,06	2,38	10,08	87,20	1,29
RF8A	8	0 - 0,6	-	-	-	10,02	6,08	-	0,17	0,50	16,00	10,90	-
RF14A	14	0 - 0,6	2,00	1.500,00	117,29	40,08	24,31	5,00	0,28	-	6,50	8,30	1,50
RF20A	20	0 - 0,6	23,50	22.500,00	205,27	1.422,77	443,57	7,50	0,44	30,30	15,00	162,65	23,10
RF26A	26	0 - 0,6	7,00	8.500,00	78,20	220,43	97,22	11,50	0,46	1,00	22,00	-	0,90
FN	200	0 - 0,6	32,00	36.000,00	234,59	2.304,49	364,58	66,00	0,82	25,35	28,50	294,75	11,10
Conversão de unidades utilizando o Software Leia 0-200 (Roncon, 2011)													
RF1,5A	1,5	Tr	6,3E+10	2,0E+10	3,2E+10	9,8E+09	1,2E+10	2,8E+11	3,5E+10	5,2E+09	8,1E+09	4,5E+09	7,5E+09
RF5A	5	Tr	2,1E+11	6,5E+10	1,1E+11	3,3E+10	3,8E+10	9,4E+11	1,2E+11	1,7E+10	2,7E+10	1,5E+10	2,5E+10
RF8A	8	Tr	3,4E+11	1,0E+11	1,7E+11	5,2E+10	6,2E+10	1,5E+12	1,8E+11	2,8E+10	4,3E+10	2,4E+10	4,0E+10
RF14A	14	Tr	5,9E+11	1,8E+11	3,0E+11	9,2E+10	1,1E+11	2,6E+12	3,2E+11	4,8E+10	7,5E+10	4,2E+10	7,0E+10
RF20A	20	Tr	8,5E+11	2,6E+11	4,2E+11	1,3E+11	1,5E+11	3,8E+12	4,6E+11	6,9E+10	1,1E+11	6,0E+10	1,0E+11
RF26A	26	Tr	1,1E+12	3,4E+11	5,5E+11	1,7E+11	2,0E+11	4,9E+12	6,0E+11	9,0E+10	1,4E+11	7,8E+10	1,3E+11
FN	200	Tr	1,3E+13	3,6E+12	5,0E+12	5,1E+12	1,9E+12	5,0E+13	7,1E+12	2,6E+12	8,3E+12	2,9E+12	3,8E+12
Tr - Roncon (2011)													
EmUS\$/ha													
RF1,5A	1,5		12,51	0,02	8,92	2,50	0,10	0,25	0,64	0,00	0,03	0,05	0,00
RF5A	5		98,08	0,10	89,16	2,01	0,80	0,38	5,14	0,00	0,08	0,40	0,01
RF8A	8		0,57	-	-	-	0,16	0,11	-	0,01	0,00	0,21	0,08
RF14A	14		100,32	0,36	83,22	10,53	1,11	0,79	4,00	0,03	-	0,15	0,03
RF20A	20		1.906,03	6,03	1.783,22	26,32	56,38	20,68	8,57	0,06	0,64	0,49	2,96
RF26A	26		926,53	2,33	875,76	13,03	11,36	5,89	17,08	0,08	0,03	0,93	-
FN	200		4.489,08	126,06	39.272,73	355,44	3.561,48	209,91	1.000,00	1,76	19,97	71,68	259,02

Tabela 28. Restauração do estoque de biomassa arbórea

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Biomassa verde (kgC/ha)	Tr	EmUS\$/ha	Biomassa verde (J/ha)
RF1,5A	1,5	25.081,03	2,02E+10	153,47	1,80E+12
RF5A	5	27.318,85	6,73E+10	557,20	1,96E+12
RF8A	8	21.346,84	1,08E+11	696,63	1,53E+12
RF14A	14	43.710,77	1,88E+11	2.496,30	3,14E+12
RF20A	20	75.006,34	2,69E+11	6.119,40	5,38E+12
RF26A	26	76.049,07	3,50E+11	8.065,81	5,46E+12
FN	200	312.324,58	9,80E+11	9.275,09	2,24E+13

Tr - Roncon (2011)

7,17E+07 J/kgC (Roncon, 2011)

Tabela 29. Restauração de espécies regenerantes

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Riqueza (sp.)	Tr	EmUS\$/ha
RF1,5A	1,5	-	4,94E+16	-
RF5A	5	2,00	4,94E+16	29.939,39
RF8A	8	5,00	4,94E+16	74.848,48
RF14A	14	11,00	4,94E+16	164.666,67
RF20A	20	12,00	4,94E+16	179.636,36
RF26A	26	21,00	4,94E+16	314.363,64
FN	200	27,00	4,94E+16	404.181,82

Tr - Odum (1996)

Tabela 30. Restauração da estrutura do solo

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Porosidade do solo (RF-C)	Estrutura do solo (J/ha)	Tr	EmUS\$/ha
RF1,5A	1,5	-1,07	-2,37E+05	1,67E+08	12,00
RF5A	5	4,04	8,94E+05	5,58E+08	151,07
RF8A	8	4,30	9,51E+05	8,92E+08	257,26
RF14A	14	10,02	2,22E+06	1,56E+09	1.049,10
RF20A	20	15,48	3,43E+06	2,23E+09	2.315,37
RF26A	26	25,34	5,61E+06	2,90E+09	4.927,19
FN	200	37,06	8,20E+06	1,00E+10	4.969,70

Tr - Roncon (2011)

15 ABA RESTAURA SERVIÇOS

Esta aba apresenta os fluxos restaurados nas áreas de estudo.

Tabela 31. Controle do escoamento superficial

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Percolação ¹ (kg/ha.ano)	Tr	EmUS\$/ha.ano	Fração
RF1,5A	1,5	2,96E+05	1,50E+08	13,47	0,75
RF5A	5	1,04E+06	1,50E+08	47,15	0,69
RF8A	8	1,64E+06	1,50E+08	74,70	0,65
RF14A	14	2,75E+06	1,50E+08	124,90	0,57
RF20A	20	3,73E+06	1,50E+08	169,60	0,49
RF26A	26	4,59E+06	1,50E+08	208,79	0,43
FN	200	9,68E+06	1,50E+08	440,22	0,05

Tr - Roncon (2011)

1 Estimada pela interpolação da porcentagem em função do ano - o escoamento da área controle (76,9%)
% estimada pela interpolação dos dados coalculados por Roncon (2011)

Tabela 32. Evapotranspiração

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Percolação ¹ (kg/ha.ano)	Tr	EmUS\$/ha.ano	Fração
RF1,5A	1,5	3,54E+05	1,50E+08	16,07	0,026
RF5A	5	1,66E+05	1,50E+08	7,57	0,012
RF8A	8	3,22E+05	1,50E+08	14,65	0,024
RF14A	14	7,12E+05	1,50E+08	32,38	0,053
RF20A	20	1,20E+06	1,50E+08	54,49	0,089
RF26A	26	1,74E+06	1,50E+08	79,29	0,130
FN	200	3,98E+06	1,50E+08	181,05	0,296

Tr - Roncon (2011)

1 Estimada pela interpolação em função da porosidade do solo

Tabela 33. Percolação de água

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Percolação ¹ (kg/ha.ano)	Tr	EmUS\$/ha.ano	Fração
RF1,5A	1,5	1,98E+06	1,50E+08	90,00	0,147
RF5A	5	2,48E+06	1,50E+08	112,66	0,184
RF8A	8	2,88E+06	1,50E+08	131,03	0,214
RF14A	14	3,60E+06	1,50E+08	163,48	0,267
RF20A	20	4,22E+06	1,50E+08	191,64	0,313
RF26A	26	4,73E+06	1,50E+08	214,91	0,351
FN	200	7,79E+06	1,50E+08	353,89	0,578

Tr - Roncon (2011)

1 Estimada pela interpolação em função da porosidade do solo

Tabela 34. PPL arbórea

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	PPL (kgC/ha.ano)	Tr	EmUS\$/ha.ano
RF1,5A	1,5	16.720,68	3,06E+10	154,93
RF5A	5	5.463,77	1,02E+11	168,75
RF8A	8	2.668,36	1,63E+11	131,86
RF14A	14	3.122,20	2,85E+11	270,01
RF20A	20	3.750,32	4,08E+11	463,33
RF26A	26	2.924,96	5,30E+11	469,77
FN	200	1.561,62	2,30E+12	1.088,40

Tr - Roncon (2011)

Tabela 35. Deposição de serapilheira

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Biomassa (kgC/ha.ano)	Tr	EmUS\$/ha.ano
RF1,5A	1,5	1.475,17	3,06E+10	13,67
RF5A	5	3.188,86	1,02E+11	98,49
RF8A	8	2.856,75	1,63E+11	141,17
RF14A	14	4.041,56	2,85E+11	349,51
RF20A	20	3.998,42	4,08E+11	493,98
RF26A	26	4.327,35	5,30E+11	695,00
FN	200	5.397,76	2,30E+12	3.762,07

Tr - Roncon (2011)

Tabela 36. metanotrofia

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Metanotrofia (kgCH ₄ /ha.ano)	Tr	EmUS\$/ha.ano
RF1,5A	1,5	13,97	4,4E+04	0,0000001841
RF5A	5	30,19	4,4E+04	0,0000003979
RF8A	8	27,04	4,4E+04	0,0000003565
RF14A	14	38,26	4,4E+04	0,0000005043
RF20A	20	37,85	4,4E+04	0,0000004990
RF26A	26	40,97	4,4E+04	0,0000005400
FN	200	51,10	4,4E+04	0,0000006736

Tr - Ulgiati e Tabacco (2001)

Tabela 37. Controle da erosão do solo

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	Solo (kg/ha.ano)	Tr	EmUS\$/ha.ano
RF1,5A	1,5	360,00	7,20E+11	78,55
RF5A	5	360,00	1,21E+11	13,22
RF8A	8	360,00	1,94E+11	21,15
RF14A	14	360,00	3,39E+11	37,01
RF20A	20	360,00	4,85E+11	52,87
RF26A	26	360,00	6,30E+11	68,73
FN	200	396,00	1,30E+12	156,00

Tabela 38. Afloramento de água

Área/Sigla [1]	Idade da área (ano) [2]	(J/ano.área)	Tr	EmUS\$/ha.ano
RF1,5A	1,5		4,80E+01	-
RF5A	5		4,80E+01	-
RF8A	8		4,80E+01	-
RF14A	14		4,80E+01	-
RF20A	20		4,80E+01	-
RF26A	26		4,80E+01	-
FN	200		4,80E+01	-

Tr - Roncon (2011)