

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

FLÁVIA LIMA MOREIRA

**AVALIAÇÃO DE FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO SOB
DIFERENTES TECNOLOGIAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO
SUDOESTE DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2016

FLÁVIA LIMA MOREIRA

**AVALIAÇÃO DE FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO SOB
DIFERENTES TECNOLOGIAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO
SUDOESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso
II, do Curso de Bacharelado em Engenharia
Florestal da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná – UTFPR, como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro
Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Casali

DOIS VIZINHOS

2016

M838a Moreira, Flávia Lima.
Avaliação de formas de fósforo do solo sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no sudoeste do Paraná – Dois Vizinhos: [s.n], 2016. 34f.:il.

Orientador: Carlos Alberto Casali
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal, Dois Vizinhos, 2016.
Bibliografia p.31-34

1. Florestamento 2. Solos – Teor de fósforo 3. Solos - Manejo I. Casali, Carlos Alberto, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos. III. Título

CDD: 526.0285

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO SOB DIFERENTES TECNOLOGIAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO SUDOESTE DO PARANÁ.

por
Flávia Lima Moreira

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 14 de Junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. A candidata foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Carlos Alberto Casali

Orientador(a)

Prof. Dr. Fernando Campanha Bechara

Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr. Paulo César Conceição

Membro titular (UTFPR)

Dedico...

A JESUS CRISTO, nome sobre todo nome, digno de toda honra e toda glória, e aos meus amados pais Fidelcina e Martinho, que sempre, amaram, me encorajaram e deram forças para que eu continuasse a correr a carreira que me foi proposta e nunca desistiram de mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por até aqui ter me sustentado, me protegido, e derramado bênçãos sem medida ao longo da minha vida acadêmica, por ter me mostrado que devo sempre perseverar em busca dos meus sonhos, e que me ensinou que em meio as dificuldades diárias, devo levantar a cabeça e seguir em frente, pois á uma necessidade de correr a carreira que me foi proposta por ELE. Meu refugio e fortaleza, socorro bem presente na angústia, minha rocha, meu libertador, todo de toda ciência sabedoria e poder.

Aos meus amados pais, que sempre me apoiaram, e acreditaram na minha capacidade de ir mais além, que me ajudaram com palavras e gestos de Amor nos momentos mais difíceis e sonharam os mesmos sonhos que eu, pois na vida nós devemos compartilhar dos nossos sonhos com quem sonha como nós, pois quem não sonha sempre nos trará frustrações.

Ao meu grande amigo Sendy França Minakawa, que é uma benção em minha vida, me apoiando e contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional, também agradeço pelo amor que ele tem por mim, pela dedicação e a paciência nos momentos mais difíceis. Obrigada pelo grande carinho, por me trazer paz nos momentos de tensão, por me completar, pois juntos somos mais fortes.

Ao meu orientador Prof^o. Dr. Carlos Alberto Casali, pelo comprometimento, a sabedoria, pela paciência, pela longanimidade, por me incentivar, ser meu amigo, meu conselheiro, muitas vezes pai, pelos puxões de orelha, por não desistir de mim, e sempre acreditar que eu teria potencial para ir mais além, nos projetos diários e de vida. Pela disponibilidade de tempo, tanto em ambientes acadêmicos quanto fora, e por nunca medir esforços para me ajudar no que fosse preciso. Se eu escrevesse um livro não caberia em palavras a minha eterna e sincera gratidão de tudo que o Sr. fez e faz por mim.

A todos os meus amigos (as), companheiros (as) de equipe, do grupo de pesquisa em ciência do solo, orientados do Prof. Carlos Alberto Casali, que foram fundamentais para a efetuação deste trabalho e dos demais trabalhos durante a graduação. Agradeço em especial a minha amiga, irmã e grande profissional Anna Flavia Neri, que sempre esteve disposta a me ajudar no que fosse preciso, que aceitou os meus defeitos e aprendeu a superar as dificuldades junto comigo, juntas andamos desde o início até o fim da vida, você é uma pérola que eu mergulhei pra encontrar, é assim que você é pra mim um tesouro que pra sempre eu vou guardar. Adicionalmente, também agradeço em especial a minha discípula e amiga Bruna Larissa Feix, que sempre foi meu braço direito dentro do laboratório, por sua dedicação e

compreensão nos momentos mais difíceis, pela amizade e as palavras de benção para minha vida, que fizeram toda a diferença.

Em particular aos professores Sergio Miguel Mazaro, Américo Wagner Júnior, Fernando Campanha Bechara, Flávia Alves Pereira, Veridiana Padoin Weber, Paulo Cesar Conseição, Felipe Rodrigues Alcides, André Pellegrini, Eleandro José Brun, e aos mestrados e doutorandos, Thiago Luis, Carlos Mezzalira, Carlos Koserá Neto, Gisely Correa de Moura, Marcos Villy Paladini e Juliano Zanela, pois foram pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado, que não mediram esforços pra me ajudar. Pessoas abençoadas que sempre terei grande admiração e respeito. Juntos podemos Andar, de mãos dadas se pode alcançar muito mais do que o homem já viu.

A todos os meus amados amigos e parceiros, que conquistei durante a graduação, pelo incentivo, palavras de benção, pela felicidade diária, tristezas compartilhadas e tudo de melhor que me proporcionaram.

Meus sinceros agradecimentos, que DEUS abençoe!

“Mas em todas as coisas somos mais que vencedores, por aquele que nos amou”.

Romanos 8:37.

RESUMO

MOREIRA, FLÁVIA LIMA. **Avaliação de formas de fósforo do solo sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no sudoeste do paraná.** 2016. 34F. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em engenharia florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois vizinhos, 2016.

A região Sudoeste do Paraná tem como setor primário a base da sua economia. Contudo, esse setor possui uma interdependência dos recursos naturais para o seu desenvolvimento, o que exige a preservação ambiental, bem como à recuperação de áreas manejadas inadequadamente. Uma vez que ocorre a remoção da cobertura vegetal natural do ambiente o sistema está sujeito a sofrer mudanças pela ação do novo modelo proposto, tanto em suas propriedades físicas quanto em suas propriedades químicas e biológicas, provocando um desequilíbrio no ecossistema, sendo necessário o monitoramento de indicadores sensíveis às alterações do ambiente. A avaliação das formas de fósforo do solo pode auxiliar a estabelecer critérios visando a melhoria do sistema solo, uma vez que este elemento é de grande importância para o desenvolvimento de espécies vegetais, especialmente em florestas tropicais. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar as formas de fósforo do solo sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Foram avaliadas amostras de solo das camadas de 0-5 e 5-10 cm, coletadas sob os tratamentos 1- regeneração passiva (testemunha), 2 – plantio de árvores em área total sob linhas de preenchimento e diversidade, 3 – nucleação e de uma área de referência (floresta nativa) localizada próxima a área experimental. O processamento das amostras foi realizado no laboratório de Solos da UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos. Estas foram submetidas ao fracionamento químico de fósforo (P), mediante extrações sucessivas, conforme Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condrón et al. (1985), como também submetidas a extração por ignificação conforme descrito por (Olsen & Sommers, 1982) e posteriormente a determinação de fósforo em extratos ácidos do solo, descrito por (MURPHY & RILEY, 1962). Para a camada do solo de 0-5 cm, o teor de fósforo extraído por resina variou de 8 a 12 mg kg⁻¹, não havendo diferença significativa entre as tecnologias de restauração ecológica, bem como não diferiu do solo sob floresta nativa. Na camada de 0-5 cm houve diferença significativa para a fração Pgeoquímico, sendo este obtido pela soma de todas as frações inorgânicas lábeis e moderadamente lábeis, com o solo sob tecnologia de plantio em área total apresentando maior teor, não diferindo estatisticamente da nucleação, e ambos diferiram da restauração passiva e floresta nativa. O mesmo comportamento foi observado na fração Pbiológico, obtido pela soma das frações orgânicas. O fósforo aplicado ao solo via fertilizantes na implantação das tecnologias de restauração ecológica plantio em área total e nucleação permanece nos primeiros cinco centímetros de solo e se redistribui principalmente nas formas orgânicas moderadamente lábeis e nas formas inorgânicas não lábeis. Recomenda-se que avaliações quanto ao monitoramento de parâmetros químicos do solo, sendo estes ligados a quantificação das formas de P do solo devem ser realizadas em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Áreas Degradadas. Qualidade do solo. Fósforo no solo.

ABSTRACT

MOREIRA, Flávia Lima. **Evaluation of soil phosphorus forms under different ecological restoration technologies in southwest of paraná** 2016. 34 f. Completion of course work (Undergraduate degree in Forest Engineering) - Federal Technology of University - Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

The Paraná Southwest region has the primary sector the basis of its economy. However, the industry has an interdependence of natural resources for its development, which requires environmental preservation and the recovery of areas handled improperly. Once that occurs the removal of the natural vegetation of the environment the system is subject to undergo changes by the action of the proposed new model, both in its physical properties and in its chemical and biological properties, causing an imbalance in the ecosystem, requiring monitoring sensitive indicators of environmental change. The evaluation of the forms of soil phosphorus can help establish criteria to soil improvement system, since this element is of great importance for the development of plant species, especially in tropical forests. Thus, this study aimed to evaluate the forms of soil phosphorus under different ecological restoration technologies in Paraná Southwest. layers of soil samples were evaluated from 0-5 and 5-10 cm, collected under the 1- passive regeneration treatments (control), 2 - planting trees in total area under fill lines and diversity, 3 - nucleation and a reference area (native forest) located near the experimental area. The processing of the samples was carried out in soils laboratory UTFPR, Campus Two Neighbors. These were subjected to chemical fractionation phosphorus (P), by successive extractions as Hedley et al. (1982), with the changes proposed by Condon et al. (1985), as well as subjected to extraction as described by ignificação (Sommers & Olsen, 1982) and subsequently the determination of phosphorus acids soil extracts, described by (Murphy & Riley, 1962). For the soil layer of 0-5 cm, phosphorus extracted by resin ranged from 8 to 12 mg kg⁻¹, with no significant difference between the ecological restoration technologies and did not differ from soil under native forest. In the 0-5 cm layer there was a significant difference to the Pgeoquímico fraction, which is obtained by the sum of all labile and moderately labile inorganic, with the soil in planting technology in total area showing higher content, not statistically different nucleation, and both differ from passive restoration and native forest. The same behavior was observed in Pbiológico fraction, obtained by adding the organic fractions. Phosphorus fertilizers applied to the soil via the implementation of ecological restoration technologies tree plantin in total nucleation and remains in the first five centimeters of soil and redistributes especially in moderately labile organic forms and the inorganic forms not labile. It is recommended that assessments of the monitoring of soil chemical parameters, which are connected to quantify the forms of soil P should be carried out in future work.

Keywords: Degraded Areas. Soil quality. Phosphorus in the soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da disposição das parcelas com as diferentes tecnologias de restauração ecológica na área em recuperação.....	20
Figura 2 – Modelo de plantio de linhas alternadas de árvores pioneiras e não pioneiras.....	21
Figura 3 - Mapa da disposição da técnica de nucleação na parcela.....	22

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Formas de Fósforo do solo na camada de 0-5 cm sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.....25
- Tabela 2- Formas de Fósforo do solo na camada de 5-10 cm sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.....26
- Tabela 3-Somatório de todas as frações de fósforo do fracionamento e teores de fósforo geoquímico, biológico do solo encontrados nas camadas de 0-5e 5-10 cm sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.....28
- Tabela 4- Teor de fósforo total (Pt), fósforo orgânico (Pot) (mg kg^{-1}) extraídos por ignificação e porcentagem de fósforo orgânico em relação ao fósforo total (%) do solo sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.....29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 TECNOLOGIAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA	15
3.2 DEGRADAÇÃO E QUALIDADE DO SOLO	16
3.3 FÓSFORO NO SOLO	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO E TRATAMENTOS	19
4.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISES DE SOLO	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6. CONCLUSÃO	30
7. REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

A região Sudoeste do Paraná tem como setor primário a base da sua economia. Contudo, esse setor possui uma interdependência dos recursos naturais, o que exige que o desenvolvimento do setor ocorra paralelamente à preservação ambiental, bem como à recuperação de áreas manejadas inadequadamente. Isso ganha mais força para a adequação dos agricultores às novas legislações ambientais, como o novo código florestal brasileiro, Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

Em ecossistemas naturais, quanto há alterações na composição da vegetação, sendo estas oriundas das práticas de manejo associadas as atividades de exploração agropecuária ou florestal, podem trazer consequências não só em relação à biodiversidade, mas também a degradação causada aos solos e a conservação, uma vez que, essas alterações de maneira inevitável podem causar perda de fertilidade e conseqüentemente de capacidade produtiva do solo (CHAVES et al. 2012).

De acordo com essas afirmações, estudos estão sendo realizados na tentativa de solucionar os problemas causados pela degradação de áreas naturais, destacando trabalhos envolvendo composição florística, nucleação, banco de sementes do solo e estrutura de comunidades existentes nestas áreas (MARTINS et al., 2008), regeneração natural, dinâmica de clareiras, (SCHIEVENIN et al., 2012) a chuva de sementes (VIEIRA; GANDOLFI, 2006), e parâmetros genéticos e estruturais de populações (REIS et al., 2010; BECHARA et al., 2007; RODRIGUES; GANDOLFI, 2001). Contudo, ainda são escassos os trabalhos realizados em relação ao efeito dessas técnicas sobre parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solo, mesmo sabendo que estes atributos podem ser afetados diretamente pelas formas de uso e manejo do solo. Após a remoção da cobertura vegetal natural do ambiente o sistema está sujeito a sofrer mudanças pela ação do novo modelo proposto, tanto em suas propriedades físicas quanto em suas propriedades químicas e biológicas, provocando um desequilíbrio no ecossistema (CARNEIRO et al., 2009). Nesse sentido, em trabalhos que busquem avaliar técnicas de restauração de áreas degradadas é fundamental a quantificação de parâmetros de solo, principalmente daqueles envolvidos com o desenvolvimento das espécies vegetais, como a ciclagem de nutrientes.

A quantificação da disponibilidade de formas de fósforo (P) nas plantas é de fundamental importância, e geralmente é realizada através da utilização de soluções extratoras. Estas estimam a quantidade do elemento adsorvido com fraca energia aos colóides

do solo e que, potencialmente, podem repor rapidamente tanto a solução do solo, quanto absorção pelas plantas (GATIBONI et al., 2003). Contudo, em ambientes florestais, o acúmulo deste elemento na biomassa, como também, o montante de P ciclado anualmente, não reflete disponibilidade do elemento no solo (NOVAIS e SMITH, 1999). Por tanto são atribuídas as formas menos lábeis de fósforo orgânico (Po) e fósforo inorgânico (Pi), contidas em solos com alto nível de intemperização, a absorção de P pelas plantas (CUNHA et al., 2007). Essas formas, geralmente, não são detectadas por procedimentos comuns de determinação de P disponível (TIESSEN et al., 1984). Para estimar a necessidade de suplementação de P via fertilização, utiliza-se o P extraível do solo como parâmetro, onde este pode ser representado como um índice de disponibilidade de P para as plantas. Porém, esse índice não considera as formas de Po e Pi que se encontram menos disponíveis (BECK e SANCHES, 1994).

Este panorama cria uma nova dinâmica da disponibilidade de fósforo, que é importante para o seu fornecimento as plantas. Para isso, torna-se necessário aprofundar o conhecimento no que diz respeito ao modo de ação dos extratores químicos e a relação da dinâmica das formas de fósforo do solo com a disponibilidade de fósforo para as plantas (GATIBONI et al., 2003).

Assim, visando selecionar a mais adequada tecnologia de restauração ecológica em emprego no Sudoeste do Paraná, torna-se essencial avaliar o efeito das diferentes técnicas empregadas sobre a melhoria do sistema solo. Para tanto, é necessário monitorar indicadores sensíveis às alterações do ambiente, e a avaliação das formas de P do solo pode auxiliar a estabelecer critérios, uma vez que este elemento é de grande importância para o desenvolvimento de espécies vegetais, como também por ser um elemento de baixa disponibilidade e mobilidade em solos altamente imtemperizados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem por objetivo avaliar as formas de fósforo do solo sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar as formas de P orgânico e P inorgânico do solo sob diferentes tecnologias de restauração ecológica.
- Comparar as diferentes tecnologias de restauração ecológica, visando selecionar a tecnologia que melhor contribui para restauração do ecossistema degradado e que proporciona melhorias no sistema solo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 TECNOLOGIAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

Conforme Rogalski et al. (2003) restaurar um ecossistema significa aumentar as possibilidades para que a sucessão natural se expresse, recriando comunidades naturais autossustentáveis mantendo os processos ecológicos estáveis, aproveitando a resiliência ambiental para viabilizar as condições em que a biodiversidade elevada será mantida, objetivando alcançar uma estrutura mais próxima possível das comunidades naturais. Para restaurar uma área degradada, deve-se ter como objetivos recuperar sua integridade física, química e biológica, ou seja, proporcionar uma reestruturação do local e ao mesmo tempo, recuperar sua capacidade produtiva (RODRIGUES; GANDOLFI, 2001).

Diferentes práticas podem ser adotadas para a execução de um projeto de restauração ecológica, como o isolamento da área, retirada dos fatores de degradação, eliminação seletiva de espécies invasoras, adensamento de espécies, indução da regeneração natural, implantação de espécies pioneiras atrativas a fauna e implantação de consórcio de diferentes espécies (RODRIGUES; GANDOLFI, 2001). Dentre as práticas mencionadas, a restauração passiva é a mais simples e antiga, contudo, há uma dependência da capacidade e da dinâmica do ecossistema local. Por tanto, isso dependerá do nível de degradação que o ambiente foi exposto, bem como da capacidade natural de recuperação do próprio ecossistema, o que pode tornar o processo mais lento e muitas vezes, ineficiente.

Portanto, a intervenção antrópica pode auxiliar na recuperação de áreas muito degradadas, contudo, isso requer conhecimentos técnicos. Nesse contexto, as técnicas de nucleação vêm mostrando resultados interessantes na restauração ecológica. Ela propõe o estabelecimento de núcleos de diversidade que se espalham naturalmente pela área a ser recuperada, onde são fornecidas condições mínimas de atratividade, como abrigo, alimentação e local de reprodução dos dispersores de propágulos possibilitando o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação pioneira envolvida no processo inicial de restauração passiva, respeitando os processos sucessionais e ecológicos e permitindo o fluxo gênico das espécies presentes entre a área degradada e os fragmentos próximos mais preservados (REIS et al., 2003; TRÊS, 2006).

De acordo com Reis et al. (2003), Reis e Três (2007) e Martins (2007), outra técnica de nucleação, comum de ser utilizada para a recuperação de áreas degradadas é o plantio de

mudas, onde este consiste de uma maneira mais rápida, e efetiva de ampliação do processo de restauração, onde é realizado o plantio de diferentes árvores sendo elas pioneiras ou não pioneiras, com o uso de espécies nativas, preferencialmente regionais, podendo seguir uma classificação como espécies de preenchimento e diversidade, com espaçamento definido ou distribuídas aleatoriamente pela área degradada.

3.2 QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS DEGRADADAS

Uma área degradada é um ambiente ou ecossistema que, geralmente por alguma ação antrópica inadequada sofreu modificações, ou ainda foi submetido a processos erosivos que alteraram as características originais da área, de maneira que não é possível o solo recuperar-se naturalmente, sendo necessária a intervenção do homem neste processo (NOFFS et al., 2000). Portanto, os processos de degradação e recuperação de uma área possuem relação principalmente com a estrutura do solo em questão, por isto, os princípios de recuperação e conservação do mesmo são diretamente influenciados e dependentes do tipo, estrutura e manejo do solo ao longo do tempo de uso (REINERT, 1998).

O manejo empregado no solo é o principal fator que determina se esse solo ficará conservado e manterá sua capacidade produtiva ou sofrerá algum tipo de degradação. De acordo com Effgen (2008), a destruição da cobertura vegetal causada pelo manejo incorreto e pela exploração desordenada, intensifica os processos erosivos, promove a perda da fertilidade e posteriormente acaba por ocorrer o abandono dessa área pelos produtores, visto que a mesma perde sua capacidade produtiva.

Esses processos de degradação do solo são divididos em físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos envolvem a desestruturação do solo, a formação de crostas, a erosão, a compactação, a anaerobiose, dentre outros itens. Os processos químicos incluem a acidificação, lixiviação, salinização, redução na CTC, perda de fertilidade do solo, entre outros. Os processos biológicos servem basicamente para monitorar as funções ou parâmetros básicos do solo, que são a estrutura ou desenvolvimento do solo, o estoque de nutrientes e a atividade biológica (LAL, 1999).

Ter o conhecimento do comportamento relacionado aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, são fundamentais para um melhor planejamento quando se pretende implantar projetos que façam uso de tecnologias de restauração de áreas degradadas (EFFGEN, 2008). Ao se verificar as condições em que se encontra o solo da área a ser

manejada, pode-se evitar prejuízos e resultados insatisfatórios no final do projeto. Contudo, nota-se a importância de ter entendimento que anteriormente à adoção de práticas de recuperação de áreas degradadas deve-se ter conhecimento do histórico de uso do solo e fazer uma verificação das possíveis mudanças ocorridas em relação ao estado original da área, realizando levantamentos das áreas sob ação antrópica e comparando com ambientes inalterados, como no caso das florestas nativas por representarem estabilidade quanto as condições ecológicas do ambiente (NETO et al., 2013).

3.3 FÓSFORO NO SOLO

A presença do P no solo em formas disponíveis para as plantas é indispensável, uma vez que este elemento tem influência direta no metabolismo das mesmas, contribuindo com o crescimento, como também na transferência de energia celular, na respiração e na fotossíntese. No início do ciclo vegetativo, limitações na disponibilidade de P podem restringir o seu desenvolvimento, onde a planta dificilmente consegue se recuperar, mesmo que haja um aumento no suprimento de P a níveis adequados.

No solo, o P pode ser encontrado sob diferentes formas, destacando formas inorgânicas e orgânicas. Ele é distribuído em formas que variam com a natureza química do ligante e a energia de ligação entre o solo e este elemento (GATIBONI et al, 2007). Quanto ao material de origem o P é encontrado na forma mineral, sendo que este é oriundo de minerais primários como as apatitas (fosfatos de cálcio), suas formas e sua distribuição em solos sob ambientes naturais, estão relacionados ao grau de intemperismo que o mesmo está submetido (FROSSARD et al., 1995). Estudos sobre essas formas são fundamentais para compreender a dinâmica do nutriente. Isso permitirá uma análise mais consistente das alterações que ocorrem em suas frações, o que pode aumentar a disponibilidade de P para as plantas, como também, contribuir para funcionalidade do ecossistema estudado.

Além das avaliações das formas disponíveis de P, a avaliação das formas menos lábeis são importantes, principalmente em ambientes naturais, e pode ser feito por meio de metodologias de fracionamento químico. Dentre essas, destaca-se a proposta por Hedley et al. (1982), com alterações de Condrón (1985), a qual tem sido muito utilizada em estudos sobre P em diferentes condições (GATIBONI, 2003; GATIBONI et al., 2007; GATIBONI et al., 2008; CERETTA et al., 2010; TIECHER et al, 2011; CASALI, 2012).

A técnica proposta por Hedley et al (1982) usa, sequencialmente, extratores químicos que removem o P inorgânico e orgânico, desde frações mais disponíveis até as mais estáveis. Cada fração de P extraída apresenta diferentes labilidades. A resina trocadora de ânions (RTA) extrai frações lábeis de P inorgânico ($P_{i_{rta}}$) e o NaHCO_3 extrai formas lábeis de P inorgânico e orgânico ($P_{i_{bic}}$ e $P_{o_{bic}}$). Essas duas frações lábeis podem contribuir para o suprimento do nutriente às plantas e parte dela pode ser transferida pela solução escoada na superfície do solo ou percolada no perfil do solo (GATIBONI et al., 2007; TIECHER et al, 2011). Já o P extraído pelo NaOH 0,1 mol L⁻¹ ($P_{i_{hid}}$ e $P_{o_{hid}}$) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ ($P_{i_{hid05}}$ e $P_{o_{hid05}}$) representam o P inorgânico ligado aos óxidos e às argilas silicatadas com energia de ligação intermediária e o P orgânico de frações moderadamente lábeis (CROSS & SCHLESINGER, 1995). O HCl extrai o P inorgânico contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvido e, finalmente, a digestão do solo com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{MgCl}_2$ extrai o P residual inorgânico + orgânico ($P_{residual}$) do solo, denominado de P recalitrante, que pode contribuir para a nutrição das plantas em situações de extrema carência no solo, porém não em taxas adequadas ao suprimento das plantas (GATIBONI et al., 2007).

Estudos que utilizam o fracionamento de Hedley têm mostrado que as frações orgânicas e inorgânicas de P no solo podem atuar como fonte ou dreno para a solução do solo, dependendo das suas características mineralógicas, das condições ambientais e da fertilização e do manejo do solo (GATIBONI et al., 2007). Nesse sentido, avaliações das formas de fósforo do solo sob diferentes sistemas de restauração ecológica pode dar uma idéia da dinâmica do nutriente a fim de prever onde se obtém maior disponibilidade, a qual interferirá na própria restauração da vegetação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO E TRATAMENTOS

A área experimental está situada entre as coordenadas geográficas 25°41'40,47" S; 53°06'12,82" W, em altitude médiade 502 m, dentro da fazenda do campus da UTFPR-DV. O clima predominante do Município de Dois Vizinhos é do tipo Cfa (subtropical úmido), segundo a classificação de Köppen Alvares et al. (2013), sem estação seca definida, apresentando temperaturas médias anuais entre 19°C e 20°C, com ocorrência de geadas frequentes (MAACK, 1981). A precipitação média anual é de 2.044 mm, sendo outubro o mês com chuvas mais intensas e os meses de março e agosto, considerados os mais secos anualmente (POSSENTI et al., 2007). O solo predominante é um Latossolo Vermelho Embrapa (2006), e a formação florestal que predomina é um ecótono entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual, isto gera uma biodiversidade distinta.

De 1993 à 2005 a área foi cultivada com culturas anuais de inverno (aveia e trigo) e verão (feijão, milho e soja), enquanto de 2006 a 2008 utilizou-se pastagens perenes (capim estrela africana; (*Cynodon leufluensis*) para bovinocultura. Em 2009 o local voltou a ser usado com culturas anuais até o mês de outubro, quando a área foi “abandonada” (sem uso). Em 20 de outubro de 2010, a área experimental foi toda roçada e, a partir desta data, foi isolada de fatores de perturbação. Dezembro de 2010 foram implantados os tratamentos em que consistiram na avaliação de três tecnologias de restauração ecológica de áreas degradadas, além de incluir uma área de floresta nativa que foi utilizada área de referência (BECHARA, 2010). Sendo estes assim denominados: tratamento 1 - restauração passiva (RP) (testemunha); tratamento 2 – plantio de árvores em área total sob linhas de preenchimento e diversidade (plantio em área total - PAT); tratamento 3 – nucleação (NC); tratamento 4- área de referência (floresta nativa).

O experimento foi delineado com 12 parcelas de 40 x 54 m totalizando (2160 m²), distribuídas em quatro blocos casualizados, com espaçamento de três metros de largura entre parcelas. Cada parcela foi ainda subdividida em 24 subparcelas de 9 x 10 m (90 m²), a fim de ter melhor controle das amostragens de materiais, conforme Figura 1.

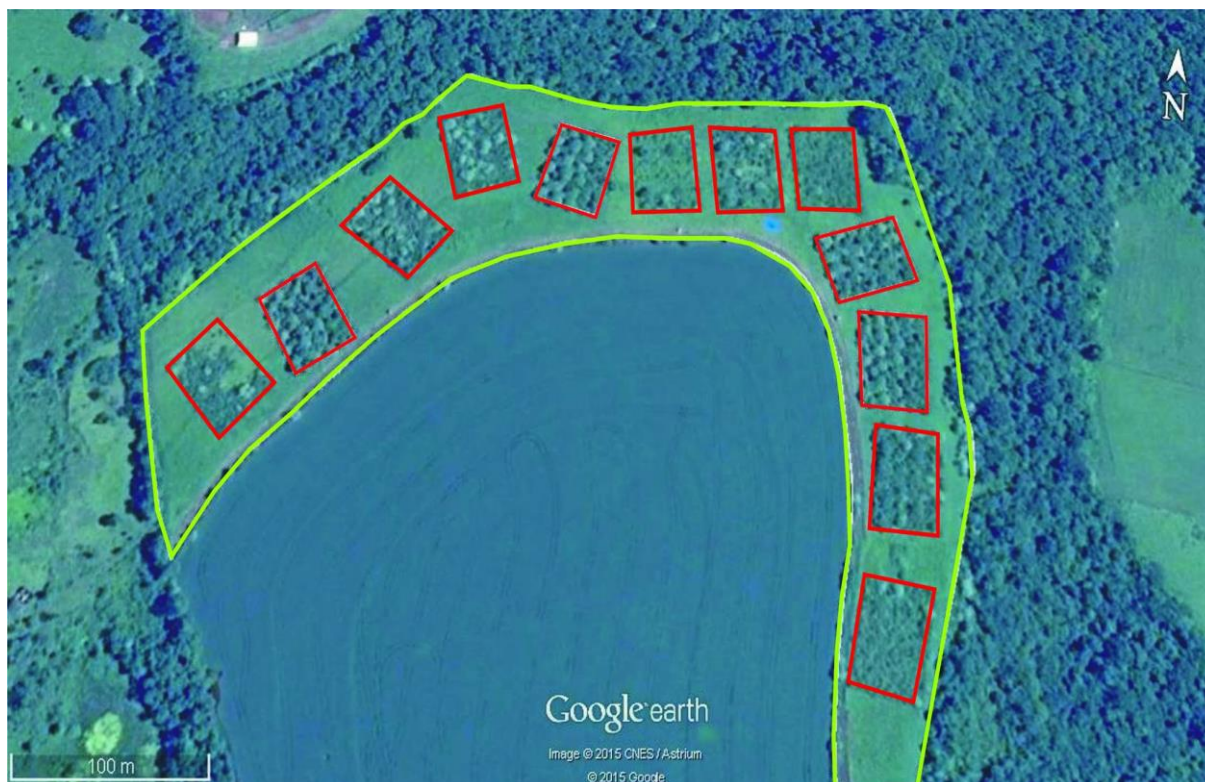


Figura 1. Disposição das parcelas com as diferentes técnicas de restauração ecológica na área em recuperação. UTFPR-DV, 2015. **Fonte:** O autor, 2015.

Foi realizada a adubação no plantio de árvores em área total sob linhas de preenchimento e diversidade, seguindo a recomendação: 30 kg/ha de nitrogênio (N) no plantio e 40 g/cova de uréia, 120 kg/ha de fósforo (P) P_2O_5 , 60 kg/ha Potássio (K) K_2O , 30 kg/ha de N na adubação de cobertura. O formulado escolhido foi 05-20-10 na dose de 600 kg/ha para uma área total de 8.640 m², totalizando 518,4 kg de adubo, adicionando uma dose por cova de 360 g. Já para a tecnologia nucleação, foi feita a seguinte recomendação: 360 g ou seja dose por muda (cova) para grupos de Anderson e bromélias, 60 g/m² dose por m², 480 g dose por 8 m², dividido por 21 plantas, estabelecendo o valor de 23 g por cova. A aplicação da adubação foi incorporada, considerando a profundidade da cova de 40 cm.

Na restauração passiva, também considerado o tratamento controle, as parcelas foram isoladas e não sofreram intervenção antrópica.

O plantio de árvores em área total sob linhas de preenchimento e diversidade, consiste no plantio de mudas nativas, em geral com 30-50 cm de altura, (GANDOLFI e RODRIGUES, 2007). De forma sistemática, intercalaram-se as espécies de preenchimento (espécies pioneiras de rápido crescimento e copa densa, 10 espécies) com as de diversidade (espécies pioneiras e não pioneiras, 60 espécies), o que totalizou o plantio de 1.440 mudas de 70 espécies regionais, conforme Figura 2.

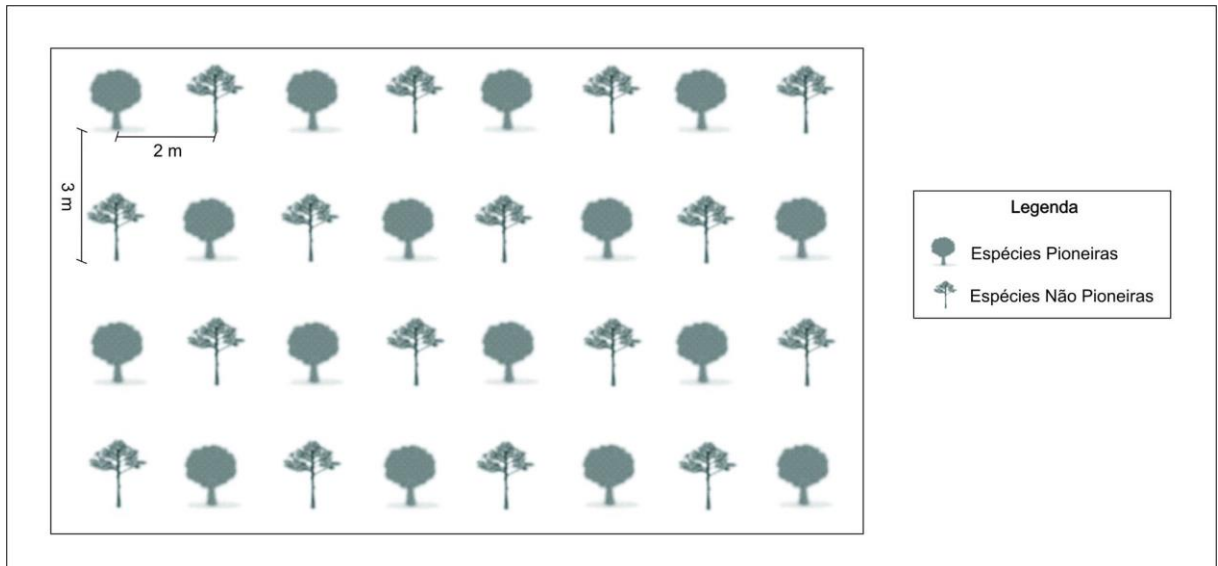


Figura 2. Modelo de plantio de linhas alternadas de árvores pioneiras e não pioneiras. UTFPR. Dois Vizinhos, 2015. **Fonte:** Kageyama, 2003.

As seguintes técnicas de nucleação (REIS et al., 2010), foram implantados: poleiros artificiais para avifauna; abrigos artificiais para atração da fauna terrestre; plantio de placas de mudas procedentes de banco e chuva de sementes de floresta em estágio médio de sucessão; plantio de árvores em grupos de Anderson de cinco mudas, sob espaçamento 1 x 1 m (em forma cruz) onde as quatro plantas laterais foram sombreadoras (12 espécies pioneiras) e a planta central foi sombreada (24 espécies não-pioneiras); núcleo de 3 x 4 m com cobertura de feijão-guandú (*Cajanuscajan* (L.) Huth); e plantio de bromélias (*Bromelia antiacantha* Bertol.) em grupos de Anderson de cinco mudas, sob espaçamento 0,5 x 0,5 m (em forma cruz). O conjunto de técnicas foram implantadas em faixas de 3 x 40 m, onde foi feita a limpeza através de roçadas e capinas químicas. Dentro desse tratamento foram utilizadas as mesmas espécies do que no tratamento de linhas de preenchimento e diversidade conforme a Figura 3.

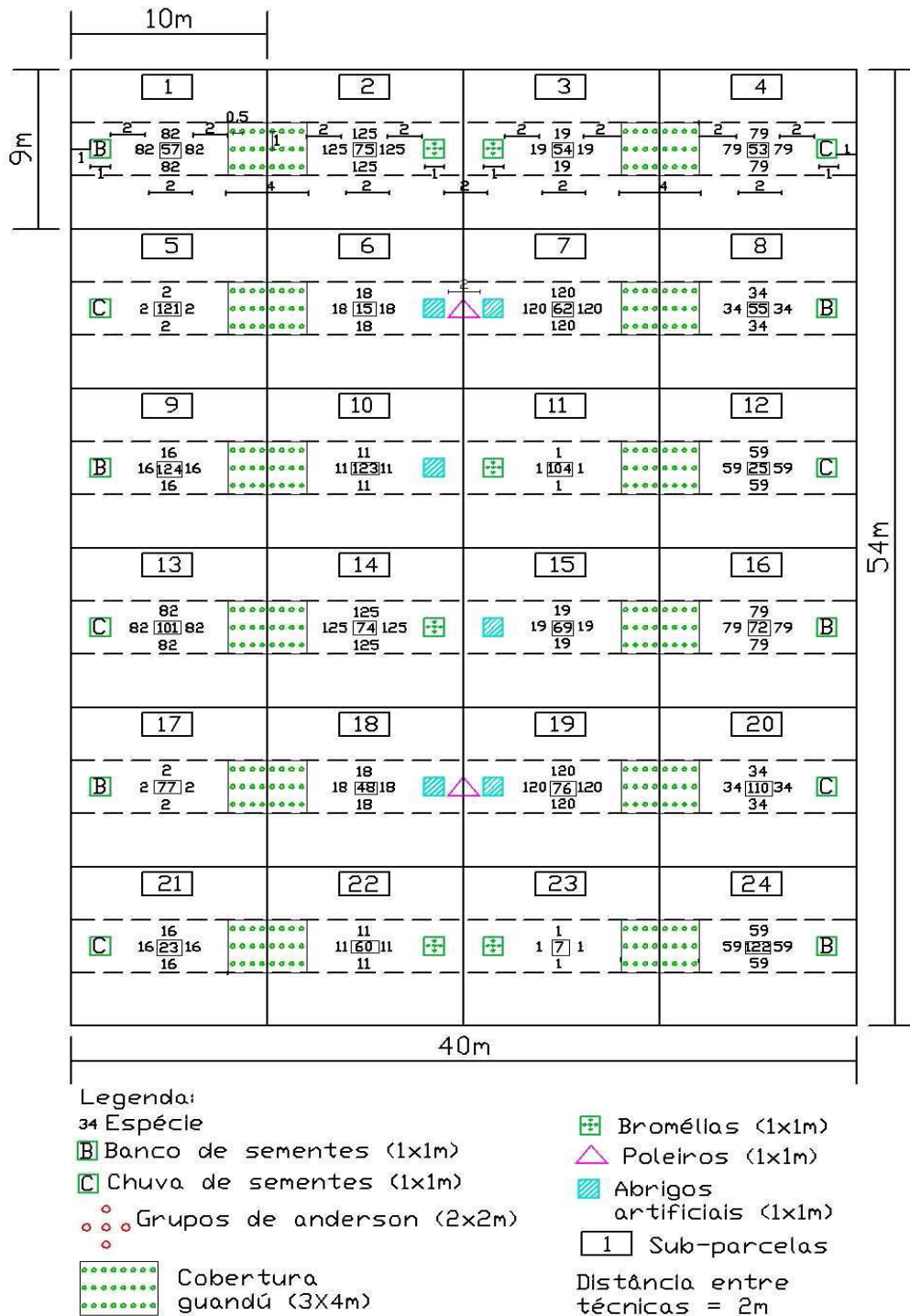


Figura 3. Mapa da disposição da técnica de nucleação na parcela. UTFPR Dois Vizinhos, 2015. **Fonte:** Bechara, 2010.

4.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISES DE SOLO

A amostragem de solo foi realizada em junho de 2014, quando a área estava com aproximadamente três anos de implantação dos tratamentos, em seis pontos por parcela. Os pontos de coleta dentro de cada parcela foram definidos a partir da subdivisão da parcela em 24 sub-parcelas devidamente numeradas. A ordem de coleta dentro da sub-parcela obedeceu a numeração das subparcelas, sendo nesse ano as pares (2, 4, 10, 12, 18, 20). A amostragem foi realizada com pá de corte nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, o que totalizou 192 amostras de solo. Após, elas foram secadas ao ar, moídas e peneiradas em malha de 2,0 mm. Para as análises de fósforo, no laboratório as seis subamostras foram unidas em uma única amostra composta, totalizando 32 amostras.

As amostras de solo foram submetidas ao fracionamento químico do P, mediante extrações sucessivas, conforme Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condon et al. (1985), que extraem formas de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi). Amostras de 0,5 g de solo seco foram submetidas à extração sequencial na seguinte ordem: resina trocadora de ânions em lâminas (AR 103 QDP 434) (fração $P_{i_{rta}}$); NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹ (frações $P_{i_{bic}}$ e $P_{o_{bic}}$); NaOH 0,1 mol L⁻¹ (frações $P_{i_{hid}}$ e $P_{o_{hid}}$); HCl 1,0 mol L⁻¹ (fração $P_{i_{HCl}}$); e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (frações $P_{i_{hid05}}$ e $P_{o_{hid05}}$). Após as extrações, o solo remanescente foi seco em estufa e submetido à digestão com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{MgCl}_2$ (fração $P_{residual}$), conforme descrito em Gatiboni (2003).

Nos extratos alcalinos, o P total foi determinado por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico, em autoclave, sendo o Po obtido pela diferença entre P total e o Pi. As frações de P determinadas no fracionamento de Hedley foram agrupadas em P geoquímico e biológico, de acordo com o proposto por Cross & Schlesinger (1995), sendo o primeiro obtido pela soma das frações inorgânicas mais o $P_{residual}$ ($P_{i_{rta}} + P_{i_{bic}} + P_{i_{hid}} + P_{i_{hid05}} + P_{i_{HCl}} + P_{residual}$) e o segundo pela soma das frações orgânicas ($P_{o_{bic}} + P_{o_{hid}} + P_{o_{hid05}}$). Foram também avaliadas formas de fósforo total (Pt), fósforo orgânico total (Pot) pela metodologia de Olsen; Sommers (1982). O P dos extratos ácidos foi determinado segundo Murphy & Riley (1962). O P inorgânico (Pi) dos extratos alcalinos (NaHCO_3 e NaOH) foi determinado pelo método proposto por Dick & Tabatabai (1977).

Os dados qualitativos, referentes ao teor de P foram submetidos à análise de variância e para os efeitos significativos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a camada do solo de 0-5 cm, o teor de P_{RTA} variou de 8 a 12 mg kg⁻¹, teores considerados baixo e médio, respectivamente, conforme o manual de adubação e calagem para os Estados do RS e SC (CQFS, 2004), sendo que não houve diferença significativa entre as tecnologias de restauração ecológica, bem como não diferiu do solo sob floresta nativa (Tabela 1). Para o P extraído por bicarbonato de sódio, tanto inorgânico (P_{ibic}) quanto orgânico (P_{obic}), não houve diferença estatística entre as diferentes tecnologias de restauração ecológica, contudo, diferiram do solo da floresta nativa o solo sob nucleação para o P_{ibic} e o solo sob plantio em área total para o P_{obic} (Tabela 1). A junção das frações P_{resina} , P_{ibic} e P_{obic} compõem as formas de P mais lábeis existentes no solo e são formas de P mais dinâmicas.

Para as frações de P inorgânico extraídas por NaOH 0,1 mol l⁻¹ (P_{hid}) e por NaOH 0,5 mol l⁻¹ (P_{hid05}) não foi observada diferença significativa entre as tecnologias de restauração ecológica ou mesmo em relação a floresta nativa (Tabela 1). Uma vez que as formas inorgânicas lábeis tenham sido retiradas pelos extratores que antecedem, o fósforo inorgânico extraído por NaOH é caracterizado como moderadamente lábil e possivelmente se encontra associado aos colóides inorgânicos do solo especificamente aos óxidos e a caulinita (GATIBONI, 2003). Já as frações orgânicas de P extraídas por NaOH (P_{ohid} e P_{ohid05}), respectivamente, foram maiores nas tecnologias nucleação e plantio em área total em relação a regeneração passiva e a floresta nativa (Tabela 1). Estes extratores extraem formas inorgânicas e orgânicas de P que não puderam ser acessadas pelo primeiro e o segundo extrator, RTA e bicarbonato de sódio, respectivamente Gatiboni (2003), ao avaliar as formas de P menos lábeis em diferentes sistemas de cultivos, a partir de sucessivas extrações com os mesmos extratores, verificou que não houve aumento nas frações mais lábeis (P_{resina} e P_{ibic}), possivelmente o P derivado do processo de mineralização do P_{hid} tenha sido absorvido pelas plantas ou readsorvido em outras formas de menos lábeis.

Para o P extraído por HCl e o $P_{residual}$, consideradas formas não lábeis de P, ou seja, que as plantas não conseguem absorver, pois estão ligados fortemente aos óxidos de ferro por meio de adsorção específica, nota-se que houve diferença significativa entre os tratamentos,

com o plantio em área total se destacando, mas que não diferiu da nucleação para o P extraído por HCl, em relação a regeneração passiva e a floresta nativa, que não diferiram estatisticamente entre si, apresentando o mesmo comportamento que as formas orgânicas de P extraídas com NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1- Formas de Fósforo do solo na camada de 0-5 cm sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Frações de P do solo	Tecnologias de restauração				CV%	DMS
	RP	NC	PAT	Floresta Nativa		
	----- mg Kg ⁻¹ -----					
P _{resina}	10 ^{ns}	8	12	11	23	5
P _{ibic}	12 ^{ab*}	9 ^b	12 ^{ab}	13 ^a	19	5
P _{obic}	63 ^{ab}	51 ^{ab}	34 ^b	78 ^a	32	38
P _{ihid}	150 ^{ns}	108	145	133	20	57
P _{ohid}	215 ^{ab}	243 ^a	262 ^a	171 ^b	11	50
P _{iHCl}	5 ^b	7 ^{ab}	9 ^a	4 ^b	24	3
P _{ihid05}	93 ^{ns}	114	82	102	24	49
P _{pihid05}	175 ^b	231 ^{ab}	283 ^a	185 ^b	17	78
P _{residual}	481 ^b	597 ^a	659 ^a	451 ^b	8	89

(RP) restauração passiva, (NC) nucleação, (PAT) plantio em área total, (Floresta Nativa) área de referência, (P_{ina}) fósforo extraído por resina trocadora de ânions, (P_{ibic}) fósforo inorgânico extraído por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, (P_{obic}) fósforo orgânico extraído por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, (P_{ihid}) fósforo inorgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹, (P_{ohid}) fósforo orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹, (P_{iHCl}) fósforo extraído por HCl 1,0 mol L⁻¹, (P_{ihid05}) fósforo inorgânico extraído por NaOH 0,5 mol L⁻¹, (P_{ohid05}) fósforo orgânico extraído por NaOH 0,5 mol L⁻¹.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

Analisando conjuntamente as formas de fósforo da camada de 0-5 cm do solo sob as tecnologias de restauração, verifica-se que o plantio em área total obteve maiores valores, seguido pela nucleação (NC), enquanto o solo sob regeneração passiva (RP) apresentou comportamento semelhante ao solo sob floresta nativa (Tabela 1). Isto se deve ao fato de que no momento de implantação das diferentes mudas de espécies florestais na tecnologia plantio em área total, foi realizada adubação fosfatada, o que elevou o teor de P de todas as frações, mas principalmente as moderadamente lábeis e não lábeis. O mesmo se aplica a tecnologia nucleação, uma vez que dentre as seis técnicas de nucleação, três delas, núcleos de Anderson, cobertura de guandu e bromélias receberam adubação fosfatada, ou seja, isso representa 50 % da área do tratamento. Por isso, esta tecnologia apresentou valores intermediários para a maior parte das frações de P, quando comparada com o plantio em área total, tanto para as formas mais lábeis, quanto para as moderadamente lábeis e não lábeis.

A regeneração passiva apresenta valores mais baixos em todas as frações que muito se aproxima dos valores encontrados de floresta nativa, isto pode estar atribuído ao fato de que esta tecnologia não recebeu adubação fosfatada, contribuindo para obtenção de valores

mais baixos tanto das formas mais lábeis quanto das menos lábeis. Tiessen et al. (1984) e Beck & Sanches (1994) observaram que a disponibilidade de P está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas em ecossistemas naturais, enquanto em solos fertilizados as frações inorgânicas lábeis tamponam grande parte do P disponível. Por outro lado, em solos altamente intemperizados ou de baixa fertilização, esses autores observaram que a disponibilidade de P é altamente dependente das formas inorgânicas e orgânicas de labilidade intermediária (GATIBONI, 2007).

Como o solo do presente estudo é Latossolo Vermelho altamente intemperizado e o P possui baixa mobilidade no perfil, nota-se que os efeitos das tecnologias de restauração ecológica se restringiram aos primeiros 5 centímetros, pois não foi verificada diferenças significativas na maioria das formas de P da camada de 5-10 cm. Tiecher (2011) e Casali (2012) verificaram que o fósforo do solo sob Floresta Ombrófila Mista predomina nas formas orgânicas e concentra-se nos primeiros 5 cm.

Tabela 2 - Formas de Fósforo do solo na camada de 5-10 cm sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Frações de P do solo	Tecnologias de restauração				CV%	DMS
	RP	NC	PAT	Floresta Nativa		
	----- mg Kg ⁻¹ -----					
P _{resina}	7 ^{ns}	6	8	9	24	4
P _{ibic}	8 ^{ns}	9	9	10	25	5
P _{obic}	24 ^{ns}	25	34	37	25	16
P _{ihid}	105 ^{ns}	91	102	103	23	49
P _{ohid}	178 ^{ab*}	205 ^a	196 ^a	145 ^b	11	42
P _{iHCl}	5 ^{ns}	5	6	3	3	33
P _{ihid05}	73 ^{ns}	99	101	83	24	44
P _{ohid05}	154 ^{ns}	195	219	196	16	66
P _{residual}	474 ^{b*}	559 ^{ab}	607 ^a	469 ^b	12	137

(RP) restauração passiva, (NC) nucleação, (PAT) plantio em área total, (Floresta Nativa) área de referência. (P_{ina}) fósforo extraído por resina trocadora de ânions, (P_{ibic}) fósforo inorgânico extraído por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, (P_{obic}) fósforo orgânico extraído por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, (P_{ihid}) fósforo inorgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹, (P_{ohid}) fósforo orgânico extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹, (P_{iHCl}) fósforo extraído por HCl 1,0 mol L⁻¹, (P_{ihid05}) fósforo inorgânico extraído por NaOH 0,5 mol L⁻¹, (P_{ohid05}) fósforo orgânico extraído por NaOH 0,5 mol L⁻¹.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

Apenas para o P_{ohid} e o P_{residual}, que são formas moderadamente lábil e não lábil, respectivamente, foi observada diferença significativa entre as tecnologias de restauração, mantendo a mesma tendência observada para a camada de 0-5 cm, onde o plantio em área total apresentou maior teor que o solo sob restauração passiva e floresta nativa, enquanto a nucleação não diferiu estatisticamente de ambos (Tabela 2).

Para a camada de 0-5 e 5-10 cm a soma das frações de P obtidas no fracionamento mantiveram a mesma tendência das frações analisadas individualmente, onde o solo sob tecnologias de restauração plantio em área total e nucleação apresentaram maiores teores de P e diferiram estatisticamente do solo sob restauração passiva e floresta nativa (Tabela 3), em função da adição de P via fertilizante na implantação dos dois primeiros sistemas. Tiecher (2011) verificou que, comparativamente ao solo cultivado, o qual recebeu fertilizante fosfatado, o solo sob floresta nativa apresentou menor teor de P total em todas as camadas avaliadas.

Tanto para a camada de 0-5 e 5-10 cm a soma das frações de P do solo diferiram estatisticamente entre os tratamentos, sendo maior para o solo sob plantio em área total, seguido pela nucleação, que não diferiu estatisticamente na camada de solo de 5-10 cm, e por último a restauração passiva e floresta nativa (Tabela 3). Constata-se que na camada de 0-5 cm as diferenças entre os tratamentos foram mais contundentes, em função de que o P adicionado via fertilizante no solo sob plantio em área total e nucleação foi superficial, concentrando seus efeitos nas camadas superiores do solo pela baixa mobilidade do P no solo.

Na camada de 0-5 cm houve diferença significativa para a fração Pgeoquímico, sendo este obtido pela soma de todas as frações inorgânicas lábeis e moderadamente lábeis ($P_{\text{resina}} + P_{\text{ibic}} + P_{\text{ihid}} + P_{\text{ihid05}} + P_{\text{HCl}} + P_{\text{residual}}$), com o solo sob tecnologia de plantio em área total apresentando maior teor, não diferindo estatisticamente da nucleação, e ambos diferiram da restauração passiva e floresta nativa (Tabela 3). O mesmo comportamento foi observado na fração Pbiológico, obtido pela soma das frações orgânicas ($P_{\text{obic}} + P_{\text{ohid}} + P_{\text{ohid05}}$), onde o maior teor de P biológico ocorreu na tecnologia plantio em área total, que não diferiu estatisticamente da nucleação, mas diferiu da restauração passiva e floresta nativa (Tabela 3).

Esses resultados indicam que o P adicionado via adubação nos sistemas de restauração plantio em toda área e nucleação se distribuiu tanto em formas inorgânicas quanto orgânicas do solo, mas sendo mais predominante nas frações inorgânicas. Tiecher (2011) verificou que o cultivo do solo com aplicações racionais de fertilizante fosfatado, de acordo com as necessidades das plantas e tipo de solo, mantendo altos teores de carbono orgânico do solo resultou no acúmulo de P na forma orgânica. Da mesma forma, esse mesmo autor verificou que nos sistemas com maior adição de carbono houve aumento no teor de P orgânico do solo, no teor de P estocado na biomassa microbiana e na atividade das enzimas fosfatases ácidas. Portanto, em sistemas de restauração ecológica a partir de áreas agrícolas, provavelmente os sistemas que adicionarem mais carbono obterão maior acúmulo de P nas

formas orgânicas, o que é benéfico para o sistema, pois essas formas de P estimulam a atividade microbiana e tem menor probabilidade de perdas para os recursos hídricos.

Tabela 3- Somatório das frações de fósforo do fracionamento químico e teores de fósforo geoquímico e biológico do solo na camada de 0-5 e 5-10 cm sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Frações de P do solo	Tecnologias de restauração				CV%	DMS
	RP	NC	PAT	Floresta Nativa		
	----- 0-5 cm (mg kg ⁻¹) -----					
Soma**	1206 c*	1366 b	1498 a	1138 c	4	115
Pgeo	751 b*	842 a	918 a	715 b	5	89
Pbio	454 b*	524 ab	579 a	422 b	11	115
	----- 5-10 cm (mg kg ⁻¹) -----					
Soma	1029 c*	1195 ab	1292 a	1053 Bc	6	148
Pgeo	672 b*	769 ab	843 a	675 b	8	132
Pbio	356 b*	425 ab	449 a	377 ab	9	80

(RP) restauração passiva, (NC) nucleação, (PAT) plantio em área total, (Floresta Nativa) área de referência.

(**Soma) soma de todas as frações, (Pgeo) fósforo geoquímico obtido pelo somatório das frações inorgânicas mais o Presidual, (Pbio) fósforo biológico obtido pelo somatório das frações orgânicas.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

ⁿ não significativo.

** Soma das frações de fósforo obtido no fracionamento.

Para a camada 0-5 cm, o solo sob nucleação apresentou maior teor de Pt, não diferindo do solo sob plantio em área total, seguido pelo solo sob restauração passiva (Tabela 4). Esse comportamento foi semelhante ao observado para o fracionamento de fósforo do solo realizado (Tabela 1). Já o solo sob floresta nativa apresentou valor intermediário de Pt, não diferindo do solo sob plantio de árvores total. Para a camada de 5-10 cm não houve diferença significativa no teor de Pt do solo entre as tecnologias de restauração ecológica, tampouco em relação a floresta nativa (Tabela 4).

O teor de fósforo orgânico total do solo (Pot) não diferiu estatisticamente entre os sistemas de restauração ecológica, tanto na camada de 0-5 quanto na de 5-10 cm (Tabela 4). Contudo, para ambas as camadas esses teores foram menores que o teor de Pot obtido no solo sob floresta nativa (Tabela 4).

Tabela 4 - Teor de fósforo total (Pt), fósforo orgânico (Pot) (mg kg^{-1}) extraídos por ignificação e porcentagem de fósforo orgânico em relação ao fósforo total (Pt) (%) do solo sob diferentes tecnologias de restauração ecológica no Sudoeste do Paraná.

Tecnologia de restauração	Camada de solo (cm)					
	0-5			5-10		
	Pt	Pot	%	Pt	Pot	%
	----- mg Kg^{-1} -----			----- mg Kg^{-1} -----		
RP	830 c*	506 b	61	985 ^{NS}	429 b	44
NC	1258a	484 b	38	869	484ab	56
PAT	1177ab	478 b	41	1108	498ab	45
Floresta nativa	1074 b	746 ^a	69	1011	561a	55
CV (%)	6	9		14	11	
DMS	148	104		304	120	

(RP) restauração passiva, (NC) nucleação, (PAT) plantio em área total, (Floresta Nativa) área de referência.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

^{NS} não significativo.

Adicionalmente, para todas as técnicas de restauração ecológica e para a floresta nativa houve maior teor de Pt e Pot na camada de 0-5 cm, comparativamente a camada de 5-10 cm (Tabela 1). A ciclagem do P pela serapilheira, associada a baixa mobilidade do P no solo, leva a maior concentração do elemento nas camadas superficiais. Isso fica mais evidente quando analisado o solo da camada de 0-5 cm sob floresta nativa, onde 69 % do P total é orgânico, em função da relação que esta camada conta com maior acúmulo de resíduos orgânicos da serapilheira, enquanto na camada de 5-10 cm esse valor cai para 55% (Tabela 4). Em estudos feitos por Chauhan et al. (1981) em relação a ciclagem de P no solo, observou-se que a quantidade de fósforo adicionado ao solo era mobilizado e redistribuído em formas orgânicas e inorgânicas e que a disponibilidade na solução tinha uma relação direta com formas de Po.

CONCLUSÕES

As tecnologias de restauração ecológica interferem nas formas de fósforo do solo, sendo que o plantio em área total e a nucleação apresentam maiores teores de P na maioria das frações inorgânicas e orgânicas analisadas, em função do uso de adubação fosfatada na implantação desses sistemas.

O fósforo aplicado ao solo via fertilizantes na implantação das tecnologias de restauração ecológica plantio em área total e nucleação permanece nos primeiros cinco centímetros de solo e se redistribui principalmente nas formas orgânicas moderadamente lábeis e nas formas inorgânicas não lábeis.

As tecnologias de restauração ecológica afetam o teor de P total do solo das camadas de 0-5 e 5-10 cm, sendo essas frações maiores nas tecnologias que utilizam adubação fosfatada. Contudo, o teor de P orgânico do solo sob tecnologias de restauração ecológica ainda não atingiu os níveis do solo sob floresta nativa.

Salienta-se que a coleta das amostras de solo foi realizada com apenas três anos de implantação dos sistemas de restauração ecológica, o que contribuiu para ocorrer diferenças pouco significativa entre as tecnologias e dificulta a indicação da mais adequada tecnologia de restauração ecológica para emprego no Sudoeste do Paraná. Portanto, o monitoramento das formas de P do solo sob diferentes técnicas de restauração ecológica deve ser realizado em trabalhos futuros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. **Koopen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift. 18 p. 2013.

CHAVES, Aurélio Alves Amaral; LACERDA, Marilusa Pinto Coelho; GOEDERT, Wenceslau J.; RAMOS, Maria Lucrecia Gerosa; KATO, Eiyti. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

BRASIL. LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, pt. 1, 2012.

BECHARA, Fernando Campanhã; FILHO, Eduardo Malta Campos; BARRETTO, Klaus Duarte; GABRIEL, Vagner de Araújo; ANTUNES, Alexsander Zamorano; REIS, Ademir. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras de biodiversidade**. Revista Brasileira de Biociências 5: 9-11. 2007.

BECK, Alvaro José. e SANCHES, Pilar Arnaiz. (1994) **Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a TypicPaleudult**. SoilSci. Soc. Am. J., 58:1424- 1430.

CARNEIRO Marco Aurélio Carbone Carneiro; SOUZA, Edicarlos Damacena; REIS, Edésio Fialho dos; PEREIRA, Hamilton Seron & AZEVEDO, Watson Rogério. **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:147-157, 2009.

CASALI, Carlos Alberto. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos por longa duração alteram as formas de fósforo do solo?**. 2012. 149 f. Tese (Doutorado), Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal, de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CAVIGLIONE, João Henrique; KIIHL, Laura Regina Bernardes; CARAMORI, Paulo Henrique; OLIVEIRA, Dalziza. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

CERETTA, Carlos Alberto; LORENSINI, Felipe; BRUNETTO, Gustavo; GIOTTO, Eduardo; GATIBONI, Luciano Colpo; LOURENZI, Cledimar Rogério; TIECHER, Tadeu Luis; TRENTIN, Gustavo & MIOTTO, Alcione. **Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 45, p. 593-602, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

CONDON, Leo M.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. **Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis.** Journal of Soil Science, Oxford, v 36, p.199-207, 1985.

CROSS, AnneFernald; SCHLESINGER, Willian H. **A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems.** Geoderma, Amsterdam, v 64, p. 197-214, 1995.

CUNHA, Gláucio de Mello; GAMA-RODRIGUES, Antônio Carlos ; COSTA, Gilmar Santos e VELLOSO, Ary Carlos Xavier. (2007) **Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense.** R. Bras. Ci. Solo, 31:667-672, 2007.

CHAUHAN, B. S., J. B. STEWART, and E. A. Paul 1981. **Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils.** Can. J. Soil Sci. 61:373-385.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. **determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds.** Journal of Environmental Quality, Madison, v 6, p. 82-85, 1977.

EFFGEN, Emanuel Mareto. **Avaliação de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo.** (Dissertação) 90 p. 2008.

FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.J. &METHERELL, A. **Reactions controlling the cycling of P in soils.** In: TIESSSEN, H (Ed). *Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles andmanagement.* 1. ed. Chichester, U.K: Wiley, p. 107-137, 1995.

GADOLFI, Sérgio. & RODRIGUES, Ricardo Riberiro. **Metodologias de restauração florestal.** In: CARGILL. Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas. Fundação Cargil. PP. 109-143.

GATIBONI, Luciano Colpo. **Disponibilidade de formas de fósforo às plantas.** Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, Luciano Colpo; KAMINSKI, João; RHEINHEIMER, Danilo dos Santos; FLORES, João Paulo Cassol. **Biodisponibilidade de Formas de Fósforo Acumuladas em Solo sob Sistema Plantio Direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:691-699, 2007.

GATIBONI, Luciano Colpo, et al. **Fosforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases acidas durante a diminuicao do fosforo disponivel no solo.** PesquisaAgropecuáriaBrasileira, v. 43, p. 1085-1091, 2008.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. **Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations.** Soil Science Society ofAmerican Journal, Madison, v 46, p. 970-976, 1982.

Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D. et al. (Coord.). *Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais*. Botucatu: Fepaf, 2003. 304p

LAL, Ratan; BRUCE, J. P. **The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect.** *Environ. Sci. Pollut.*, v.2, p.177-185, 1999.

MARTINS, Sebastião Venâncio; ALMEIDA, Diego Pierre; FERNANDES, Loane Vaz; RIBEIRO, Tiago Maciel. **Banco de sementes como indicador de restauração de uma área degradada por mineração de caulim em Brás Pires, MG.** *Revista Árvore*, v.32, n.6, p.1081-1088, 2008.

MARTINS, Sebastião Venâncio. **Recuperação de matas ciliares.** Aprenda Fácil Editora. Viçosa, MG. 2a edição. 255 p. 2007.

MAACK, Reinhard. **Geografia física do Estado do Paraná.** Rio de Janeiro, J. Olympio, 1981.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters.** *Anal. Chim. Acta* 27:31-36. 1962.

NETO, Durval N. Neves; SANTOS, Antonio C. dos; SANTOS, Perlon M.; MELO, Jonahtan C.; SANTOS, Josemara S. **Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB. v.17, n.9, p.995–1004, 2013.

NOFFS, Paulo da Silva; GALLI, Luis Fernando; GONÇALVES, Janio Carlos. **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: Uma experiência da CESP – Companhia Energética de São Paulo.** (Caderno, 3). 48 p. 2000.

NOVAIS, Roberto Ferreira; SMYTH, Tomas John. (1999) **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** UFV, DPS, Viçosa-MG, 399 p.

OLSEN, S. R.; SOMMERS, L. E.; Phosphorus. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, Q. R. (Eds.) **Methods of Soil Analysis, Part 2.** Chemical and Microbiological Properties. 2. ed. SSSA. Madison, 1982 p. 403-430.

POSSENTI, Jean C.; GOUVEA, Alfredo; MARTIN, Thomas N.; CADORE, Douglas. **Distribuição da Precipitação Pluvial em Dois Vizinhos, Paraná, Brasil.** In: I Seminário Sistemas De Produção Agropecuária Na Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Dois Vizinhos – PR. Anais... Dois Vizinhos (PR), 2007.

REIS, Ademir; BECHARA, Fernando Campanhã; ESPÍNDOLA, Marina Bazzo de; VIEIRA, Neide Koehntopp; SOUZA, Leandro Lopes de. **Restauração de áreas 62 degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais.** *Natureza & Conservação*. vol 1. nº 1. pp. 28-36. Abril, 2003.

REIS, Ademir; TRÊS, Deisy Regina. **Nucleação: integração das comunidades naturais com a paisagem.** In: CARGILL. Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas. Fundação Cargill. pp. 109-143. 2007.

REIS, Ademir; BECHARA, Fernando Campanhã; TRES, Deisy Regina. **Nucleationintropicalecologicalrestoration. ScientiaAgricola.** (Piracicaba, Braz.), v.67, n.2, p.244-250, March/April, 2010.

REINERT, D. J. **Recuperação de solos em sistemas agropastoris: recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: UFV. Departamento de solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. 251p.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius. **Recomposição de Florestas Nativas:Princípios Gerais e Subsídios para uma Definição Metodológica.** Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, Campinas, SP, v. 2, n. 1, p. 4-15, 2001.

ROGALSKI, Juliana M.; BERKENBROCK, Isabela S.; REIS, Ademir; REIS, M. S. **Sucessão e manutenção da diversidade biológica e da variabilidade genética:ferramentas básicas para a restauração ambiental.** 2003. Disponível em: <http://ras.ufsc.br/images/stories/sucessao_manutencao_biodiversidade.pdf>. Acesso em 10 de agosto de 2013.

SCHIEVENIN, Dimitrio Fernandes; TONELLO, Kelly Cristina; SILVA, Diego Aleixo da; VALENTE, Roberta de O. A.; FARIA, Luiz Carlos de; THIERSCH, Cláudio Roberto. **Monitoramento de indicadores de uma área de restauração florestal em Sorocaba-SP.** Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, v.19, n.1, p.95- 108, 2012.

TEDESCO, Marino José; GIANELLO, Clésio; BISSANI, Carlos Alberto; VOLKWEISS, Sérgio Jorge; BOAHNEN, Humberto. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: Departamento de Solos, Ed. UFRGS, (Boletim Técnico), 1995.

TIECHER, Tales. **Dinâmica do fósforo em solo muito argiloso sob diferentes preparos de solo e culturas de inverno.** 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de concentração em Processos Químicos e ciclagem de elementos) – Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. **Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis.** Soil Science Society of American Journal, Madison, v 48, p. 853-858, 1984.

TRÊS, Deisy Regina. **Tendências da restauração ecológica baseada na nucleação.** In: MARIATH, J. E. A. SANTOS, R. P. (Eds). Os avanços da botânica no início do século XXI: morfologia, fisiologia, taxonomia, ecologia e genética. Conferências plenárias e simpósios do 57º Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil, Porto Alegre, Brasil, p. 404-408. 2006.

VIEIRA, Daniela Cristine Mascia; GANDOLFI, Sergius. **Chuva de sementes e regeneração natural sob três espécies arbóreas em uma floresta em processo de restauração.** Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v. 29, n. 4, 2006.

