



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS ALIADOS À ROCHAGEM PARA RECUPERAÇÃO  
DE ÁREAS DEGRADADAS**

Estudante: Fernanda de Paula Medeiros, matrícula 09/0069820

Linha de pesquisa: Solos e Conservação Florestal

Orientador: Prof. Dr. Alcides Gatto

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Brasília – DF, junho de 2014

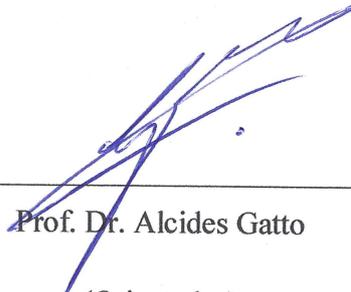
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

SISTEMAS AGROFLORESTAIS ALIADOS À ROCHAGEM PARA RECUPERAÇÃO  
DE ÁREAS DEGRADADAS

Aluna: Fernanda de Paula Medeiros, matrícula 09/0069820  
CPF: 123.585.127-37

Menção: MB

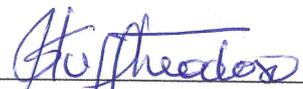
Aprovada por:



---

Prof. Dr. Alcides Gatto

(Orientador)



---

Prof. Dr<sup>a</sup> Suzi Huff Theodoro  
(Membro da Banca)



---

MSc. Fabiana Campos Ribeiro  
(Membro da Banca)

Brasília - DF, Junho de 2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

MEDEIROS, FERNANDA DE PAULA

Sistemas agroflorestais aliados à rochagem para recuperação de áreas degradadas [Distrito Federal], 2014.

EFL/FT/UnB – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEDEIROS, F. P. (2014). **Sistemas agroflorestais aliados à rochagem para recuperação de áreas degradadas**. Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 24p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: FERNANDA DE PAULA MEDEIROS

TÍTULO: Sistemas agroflorestais aliados à rochagem para recuperação de áreas degradadas.

ANO: 2014.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa monografia pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

---

Fernanda de Paula Medeiros

Email: fefah2801@gmail.com

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.”

Paulo Freire

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a força divina que me preencheu em todos os momentos, me acalmando com a certeza de que tudo acontece como deve ser.

Agradeço à minha família, que sempre esteve do meu lado, dando força e amor, reforçando a base forte que temos juntos. Entendo à família, os amigos, que estiveram comigo sempre, com a calma de verdadeiros irmãos e irmãs.

Agradeço à incrível pesquisadora Suzi Huff, que desde sempre esteve ao meu lado, me mostrou o que é ciência e despertou em mim a estiga da pesquisa, do conhecimento, e ainda da amizade. Sou grata por cada palavra, cada vez que iluminou minhas ideias, cada viagem a campo, tantos aprendizados. Torço pra que venham cada vez mais!

Agradeço ainda ao Departamento de Engenharia Florestal, a todos os professores. Vários deles me influenciaram positivamente, visando, quem sabe, uma vida acadêmica para o futuro. Sou grata especialmente ao professor Reuber Brandão pelas boas ideias, professor Eraldo Matricardi e professor Ildeu Martins e tantos outros que me inspiraram nessa caminhada da Graduação.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
2.1 Delineamento experimental.....	11
2.2 Semeadura e plantio.....	12
2.3 Manejo cultural.....	13
2.4 Germinação e crescimento das mudas – análise e coleta de dados.....	14
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	14
3.1 Taxa de germinação.....	14
3.1.1 Mudas sobreviventes.....	15
3.2 Crescimento de mudas.....	16
3.3 Análise química do solo.....	19
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	21
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	21

## **Sistemas agroflorestais aliados à rochagem para recuperação de áreas degradadas.**

### **RESUMO**

A Estação Ecológica Pirapitinga é uma Unidade de Conservação em forma de ilha de cerrado localizada no interior do reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias, Morada Nova de Minas, MG. As margens do reservatório apresentam problemas de deposição de sedimentos, trazidos pela água, o qual compromete a germinação e o sucesso natural das espécies nativas da região. Para auxiliar na reversão de tal problema, bem como avaliar a eficácia de tecnologias de fertilização nos processos de revegetação em áreas degradadas, foi implantado um Sistema Agroflorestal. Considerando que os solos da região são ácidos e de baixa fertilidade natural, foram testados diferentes insumos disponíveis na região para fertilizar o solo, entre os quais se destacam os sedimentos retidos no fundo do reservatório, rochas moídas e composto orgânico. O delineamento experimental contou com a aplicação de sete tratamentos e três repetições. Foi avaliada a taxa de germinação de sementes e o crescimento em altura de seis espécies florestais nativas da região – Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*) Cedro (*Cedrela fissilis* Vell), Mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam), Baru (*Dypterix allata*) e Copaíba (*Copaifera langsdorfii*). Após dois anos de monitoramento foi possível identificar que as espécies florestais obtiveram sucesso no tratamento onde foi inseridos pó de rocha e sedimentos, evidenciando a potencialidade da rochagem na reestruturação dos solos e favorecimento da germinação e crescimento dessas espécies. Estatisticamente o tratamento que se mostrou mais eficiente para germinação das espécies florestais foi o tratamento com sedimento, composto orgânico e rocha, enquanto que o tratamento mais eficiente para crescimento das mudas foi o que continha sedimento e rocha.

Palavras-chave: sedimentos, fertilização de solo, espécies nativas do cerrado, restauração florestal.

### **ABSTRACT**

The Pirapitinga Ecological Station is a conservation-shaped island of savanna located within the reservoir of the hydroelectric plant in Três Marias, Morada Nova de Minas, MG. The banks of the reservoir have problems of deposition of sediments brought by water, which compromises the natural germination and success of native species. To assist in reversing this problem, as well as evaluating the effectiveness of fertilization technologies in the revegetation in degraded areas, deployed an Agroforestry System. Whereas the soils of the region are acidic and low fertility

were tested different inputs available in the region to fertilize the soil, among which stand out sediments retained in the reservoir bottom, crushed rocks and organic compound. The experimental design involved the application of seven treatments and three replications. The rate of seed germination and growth were six native species of the region was assessed. Jatobá (*Hymenaea courbaril L.*), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*) Cedro (*Cedrela fissilis Vell*), Mutamba (*Guazuma ulmifolia Lam*), Baru (*Dypterix allata*) and Copaíba (*Copaifera langsdorfii*). After two years of monitoring, we found that the forest species were successful in the treatment where rock dust and sediment was inserted, showing the potentiality of stonemeal restructuring of soil and favoring the germination and growth of these species.

Key words: sediments; soil fertilizer, reclaim forestry.

## 1. INTRODUÇÃO

A Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP) é uma unidade de proteção integral, segundo classificação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC - Lei Federal nº 9.985/2000), criada em 20/07/1987 por meio do Decreto nº 94.656. Está localizada no município de Morada Nova de Minas, estado de Minas Gerais. Localizada no bioma Cerrado e foi criada visando à proteção do meio ambiente. Permite a realização de pesquisas básicas baseadas na ecologia e no desenvolvimento da educação conservacionista (MMA, 2013).

Em função do enchimento do reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias, em 1962, a Estação adquiriu a feição de ilha. Os processos erosivos ocorrem de forma acentuada no interior da ilha e nas margens do reservatório, acelerando o assoreamento devido à deposição de sedimentos trazidos pela água, e conseqüentemente, diminui gradativamente a vida útil da hidrelétrica.

Na natureza, a recuperação de solos degradados pode levar muito tempo. Porém, encontrar mecanismo para abreviar este período é um dos objetivos dos projetos de restauração (GÖTSCH, 1995). Os solos do Cerrado apresentam limitações quanto à fertilidade, deste modo à adição de nutrientes ao solo mediante a prática de adubação ou fertilização pode aumentar o sucesso dos plantios florestais de recuperação de áreas degradadas, entretanto há poucos estudos sobre adubação de espécies florestais nativas em nível de campo (DUBOC; GUERRINI, 2007).

Para recuperação e mitigação dos processos erosivos, sugeriu-se a restauração florestal de uma área da EEP, que foi realizada a partir de pressupostos ecológicos, baseados na metodologia dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) e na utilização da técnica de rochagem, que consiste na aplicação rochas moídas com potencial de fertilização do solo ao longo do tempo, no formato de pó.

A melhoria das propriedades físico-químicas do solo ou do substrato de produção de mudas, aliado a seleção de espécies adequadas para projetos de revegetação é muitas vezes requerida para o sucesso dos projetos de recuperação de áreas degradadas. O nível adequado de fertilização depende, em geral, das condições do solo e das espécies a serem utilizadas para cada sítio. Assim, a melhoria das condições do solo ou do substrato em fornecer nutrientes de forma adequada as plantas possibilita o rápido estabelecimento da vegetação reduzindo ou controlando a erosão, com conseqüente estabilização da superfície degradada do solo (OLIVEIRA NETO et al., 1997), permitindo inclusive o estabelecimento de outras espécies.

Peneireiro (1999) afirma que quando se trabalha com sistemas agroflorestais sucessionais, propõe que seja observada com atenção a alta diversidade de espécies requeridas, similar a de uma floresta natural, onde inúmeras espécies se desenvolvem muito próximas umas das outras, ocupando, no entanto, diferentes estratos, atuando em diferentes estágios da sucessão e com necessidades luminosas e nutricionais distintas.

A rochagem prevê o uso de rochas moídas ou seus subprodutos (sedimentos retidos em barragens) para remineralizar os solos. O uso desses materiais geológicos tem como principal pressuposto o uso de determinadas rochas ricas em macro e micronutrientes, presentes nos minerais e tem a função de remineralizar/rejuvenescer os solos e, portanto, aumentar a fertilidade dos solos (THEODORO; LEONARDOS, 2006).

A fertilidade do substrato também exerce papel importante no início da revegetação, visto que as espécies requerem nutrientes em quantidades satisfatórias e equilibradas e na forma disponível para a fase inicial de crescimento e estabelecimento (DIAS et al., 2007). O estudo do uso de sedimentos para fertilização de solos, especialmente para fins agrícolas, é uma área do conhecimento ainda recente. Os sedimentos geralmente são retirados do fundo de barragens e utilizados não apenas para fertilizar o solo, mas também para prevenir e recuperar áreas assoreadas ao longo do reservatório.

Segundo Fonseca et al. (2011), em lagos naturais e artificiais as concentrações e as formas em que os nutrientes ocorrem, quer na coluna de água quer associados aos sedimentos de fundo do leito do reservatório, dependem das características mineralógicas e biogeoquímicas dos sedimentos e das taxas de intemperismo das formações geológicas que compõem as bacias de drenagem. Em climas tropicais, onde os processos de intemperismo e lixiviação de sais solúveis são intensos, grandes quantidades de nutrientes são transportadas em solução ou suspensão associados às partículas de argila e de matéria orgânica pela ação da água, depositando-se em lagos artificiais sempre que o curso d'água sejam interrompidos por barreiras físicas, como a construção de barragens. Estas partículas, geralmente constituídas por minerais argilosos e matéria orgânica, pela sua baixa densidade e dimensão são as mais susceptíveis aos processos de alteração, sendo majoritariamente provenientes da excessiva erosão e perda de solo das regiões a montante (FONSECA; BARRIGA, 2003, FONSECA et al., 2007).

Através da implantação de uma Unidade Demonstrativa (UD), foi realizada a contabilização das espécies florestais nativas (Gonçalo Alves, Baru, Cedro, Jatobá, Copaíba e Mutamba) germinadas e a medição da altura das mesmas ao longo de dois anos de SAFs, buscando avaliar a restauração florestal da área, testando diferentes insumos (minerais e

orgânicos) e observando-se sua eficiência. Foram realizadas análises de fertilidade do solo antes e depois da implantação da UD, bem como dos demais materiais utilizados nas parcelas.

Os dados apresentados referem-se a um dos módulos que compõe o Projeto “Avaliação e Gestão do Assoreamento de Reservatórios”, aprovado no âmbito da chamada pública MCT/FINEP - CT ENERG - Energia Elétrica - 01/2008 e que está sendo conduzido pela Universidade de Brasília - pelo Instituto de Geociências e Centro de Desenvolvimento Sustentável - e parceiros do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMbio).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP) está localizada numa ilha de cerrado, nas coordenadas 18° 20' S e 45,17' W a 45° 20' W (Figura 1) com uma área de 1.090 ha. Possui cerca de 1.000 ha, variando em função da alteração do nível do lago, que possui cota de 568 m até a mínima de 559 m.

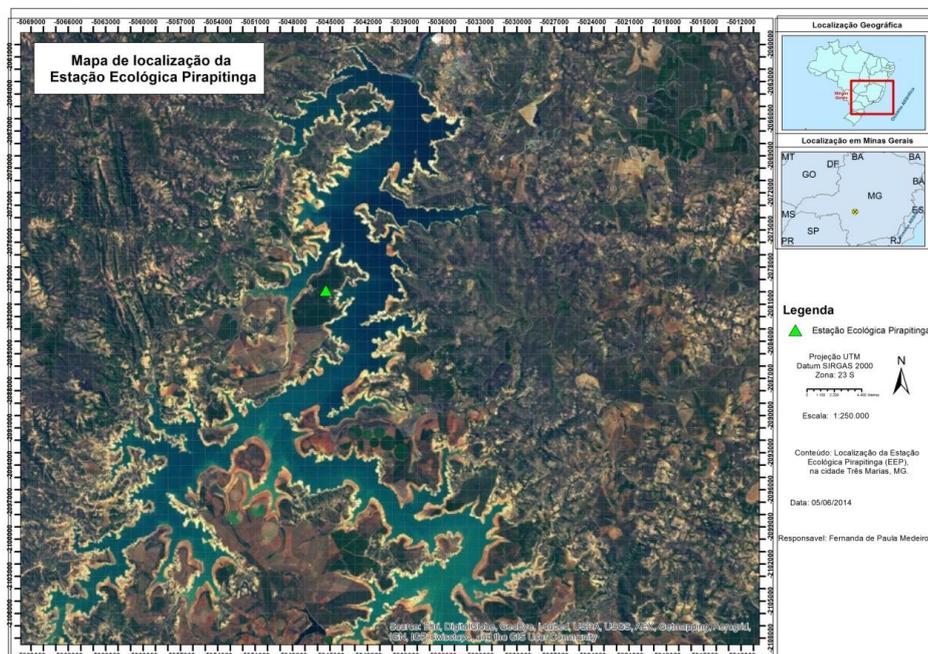


Figura 1 - Mapa de localização da Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP), Três Marias/MG.

A vegetação na Estação é constituída por espécies arbóreas com até 25 m de altura e densidade variável. Ocorrem, na EEP, duas fitofisionomias distintas: florestal e savânica, sendo que a primeira predomina em relação à segunda (AZEVEDO et al., 1987; GIÁCOMO, 2009). O solo da região da EEP é classificado como Latossolo Vermelho distrófico A moderado, com textura muito argilosa, com relevo suave ondulado.

Os materiais utilizados para fertilizar o solo, segundo os pressupostos da rochagem, derivaram de três fontes: pós de rocha, sedimentos acumulados no reservatório e o composto orgânico (esterco bovino) disponíveis na região.

## 2.1. Delineamento experimental

Para implantação do SAFs na Unidade Demonstrativa (UD) foi realizada a identificação prévia dos pontos que continham sedimentos acumulados com características geoquímicas mais interessantes na área do reservatório, do ponto de vista geoquímico (teores dos principais macros e micronutrientes) e em seguida, foi realizada a amostragem do solo, dos sedimentos e do pó de rocha encontrados Estação ou no entorno da barragem de Três Marias, para avaliação da fertilidade do solo e das características químicas desses materiais.

O delineamento experimental contou a aplicação de sete tratamentos e três repetições casualizados. Os tratamentos testados foram: T1: Composto orgânico - C (P1, P11 e P17), T2: Pó de rocha - R (P2, P12 e P20), T3: Sedimento - S (P3, P14 e P16), T4: Sedimento + Rocha - SR (P4, P10 e P21), T5: Sedimento + Composto orgânico - SC (P5, P13 e P15), T6: Sedimento + Composto orgânico + Rocha - SCR (P6, P8 e P19) e T7: Testemunha - T, apenas o solo da área (P7, P9 e P18). (Figura 2). Ao todo, o delineamento resultou em 21 parcelas, com dimensões de quatro metros quadrados por parcela, em uma área total de 144 m<sup>2</sup>, sendo semeadas três sementes por espécie florestal.



Figura 2 - Croqui esquemático do delineamento da área do experimento.

As parcelas constituíram na construção de canteiros de germinação, preparados manualmente, por meio de ferramentas manuais. Para proteção dos canteiros foram introduzidas

como cobertura folhas secas, presentes na mata da EEP, que teve a finalidade de cobrir o solo e manter a umidade, além de auxiliar na redução da incidência de mato-competição.

O pó de rocha utilizado no experimento foi o mesmo que serviu de fonte principal para os sedimentos encontrados em um dos tributários do reservatório – Rio Indaiá, que drena uma região a sudeste do lago. Trata-se de uma rocha ultrapotássica, de origem vulcânica presente na formação Mata da Corda. De acordo com Leonardos et al. (1976) essas rochas formam uma sequência de rochas intrusivas e extrusivas, que inclui a família dos kamafugitos que são compostos por uma série de minerais de baixo teor de sílica e quantidades apreciáveis de potássio, cálcio e magnésio. Em análise química, essa rocha apresentou nutrientes interessantes para o desenvolvimento de plantas, com 6,48% de CaO, 8,50% de K<sub>2</sub>O e 2,14% de K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

A proporção de pó de rocha e de sedimentos utilizado foi de 5 Ton/ha e de composto orgânico de 10 Ton/ha, o que equivaleu a dois quilogramas de pó de rocha, dois quilogramas de sedimento e quatro quilogramas de composto orgânico por parcela. Previamente os materiais foram misturados, seguido da aplicação a lanço em área total da parcela e incorporados com enxada a cerca de 20 cm de profundidade.

Assim como no início, foi realizada uma coleta de solo da área de implantação da UD. Após 26 meses foi realizada a coleta de solo composta de cada tratamento, onde em laboratório foram discriminados em relação à sua fertilidade.

## **2.2. Semeadura e plantio**

Utilizou-se três tipos de hortaliças (Cenoura, Salsa e Rúcula), duas culturas agrícolas (milho e quiabo), dois tipos de leguminosas (Feijão Guandú e Feijão de Porco) e seis espécies florestais – Cedro (*Cedrela fissilis Vell*), Jatobá (*Hymenaea courbaril L.*), Copaíba (*Copaifera langsdorfii*), Gonçalves alves (*Astronium fraxinifolium*), Mutamba (*Guazuma ulmifolia Lam*) e Baru (*Dypterix allata*). Foram semeadas três sementes de cada espécie florestal a dois cm de profundidade do solo, em fevereiro de 2012 e monitoradas de tempos em tempos. Segundo o Plano de Manejo da EEP (2013), essas são espécies que existem naturalmente na área. As 21 parcelas foram plantadas com o mesmo delineamento, como e pode ser observado na Figura 3.

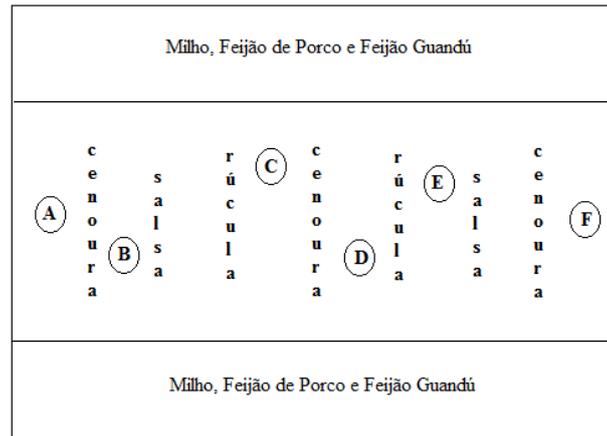


Figura 3 - Localização de cada espécie plantada dentro da parcela, onde A: Gonçalves, B: Baru, C: Jatobá, D: Mutamba, E: Copaíba, F: Cedro.

### 2.3. Manejo cultural

Para manejo cultural do experimento, foi realizada a cobertura periódica das parcelas com folhas secas, para conservação do solo, da umidade e da temperatura, com o intuito de facilitar a germinação e o crescimento das plantas pela maior oferta de água e nutrientes mineralizados pelos organismos do solo dos materiais orgânicos adicionados e presentes no solo.

O uso do feijão guandu e do feijão de porco teve por objetivo promover a fixação biológica do nitrogênio por serem duas leguminosas em associação biótica com bactérias fixadoras do  $N_2$  atmosférico e adicionar uma camada de cobertura morta da palhada dessas plantas pelo corte sistemático da parte aérea dessas plantas.

Em relação às hortaliças (cenoura, salsa e rúcula), essas foram colhidas em seu pleno estágio vegetativas e não foram avaliadas em termos de germinação de produção de fitomassa. As culturas de Milho teve a função de atrair a fauna, que se alimentam dos seus frutos, e assim, dispersar sementes de outras espécies nativas da região, e assim, catalisar o processo de revegetação da área.

### 2.4. Germinação e crescimento das mudas

A avaliação da taxa de germinação das sementes das espécies florestais implantadas foi realizada dois meses após o semeio, contando o número de sementes germinadas por parcela e tratamento. Em relação ao crescimento das mudas, este parâmetro foi avaliado nos meses de abril, junho e setembro de 2012, fevereiro e dezembro de 2013 e abril de 2014. Utilizando-se de

uma fita métrica para medir a altura (cm) de cada muda, medindo-se a altura da muda inteira desde o colo até a última gema apical do ramo principal.

As análises estatísticas constaram da comparação de médias entre os tratamentos, realizada pelo teste de médias de Duncan e análises conjuntas entre tratamentos e entre espécies, com desdobramento nas interações significativas, empregando-se o programa estatístico GENES (CRUZ, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 26 meses de monitoramento do projeto, analisando-se a quantidade de indivíduos germinados e seu desenvolvimento, nota-se uma restauração florestal em desenvolvimento positivo. As espécies florestais mostraram diferentes comportamentos no processo de germinação e crescimento dentro do tratamento em que estavam inseridas. O entendimento de comportamento de cada espécie diz muito a respeito da necessidade nutricional de cada uma e como elas assimilam os nutrientes disponíveis no solo.

#### 3.1. Taxa de germinação

Dos sete tratamentos testados na área experimental, o que apresentou a maior taxa de germinação foi o tratamento onde o sedimento (S) foi incorporado, seguido do sedimento+rocha (SR) e sedimento+composto (SC). Por outro lado, a menor taxa de germinação foi o tratamento com pó de rocha (R), seguido pelos tratamentos de composto (C) e sedimento+composto+rocha (SCR).

A espécie florestal que apresentou a melhor germinação no total de tratamentos foi o Gonçalo Alves (50 plântulas), seguida do Cedro (42 plântulas), Mutamba (29 plântulas). (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de sementes de espécies florestais germinadas por tratamento.

Árvore/Tratamento	C	R	S	SR	SC	SCR	T	Total
Jatobá	6	2	2	2	3	4	2	21
Gonçalo Alves	5	4	9	9	8	6	7	50
Cedro	6	4	6	7	6	5	8	42
Mutamba	1	3	5	4	7	5	4	29
Baru	3	2	1	2	0	1	2	11
Copaíba	2	5	4	3	4	5	5	28
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>181</b>

C: Composto orgânico; R: Rocha; S: Sedimento; SR: Sedimento + Rocha; SC: Sedimento + Composto orgânico; RCR: Sedimento + Composto orgânico + Rocha e T: Testemunha.

Observou-se nos primeiros meses após a germinação que essas espécies estavam apresentando alta taxa de crescimento, enquanto estavam consorciadas com as leguminosas de crescimento rápido (Feijão Guandú e Feijão de Porco), que lhes assegurava sombreamento e proteção contra o vento, radiação solar direta e as fortes chuvas. Porém, quando estas foram podadas, para formar a cobertura morta do solo, e sem a proteção inicial que exerciam sobre a taxa de crescimento, constatou-se que a Copaíba e o Gonçalo Alves foram as espécies mais sensíveis a mudança de ambiente, levando a morte de várias mudas em praticamente todas as parcelas. Dutra (2012), estudou o comportamento da copaíba, que é uma espécie que necessita de sombra na fase inicial de seu desenvolvimento, sendo o nível de 50% de sombreamento uma alternativa viável para produção de mudas da espécie. E, dentre todas as espécies o Gonçalo Alves foi quem apresentou a maior redução do número de mudas sobreviventes e na taxa de crescimento.

No geral, as espécies florestais apresentaram diferença significativa de germinação principalmente entre tratamentos e entre espécies. Na Tabela 2, verifica-se que os tratamentos S, SR, SC, T e C apresentaram comportamento similar quanto à germinação, mas cada espécie se comportou à sua maneira quanto à germinação, sendo o Gonçalo Alves a espécie que obteve mais sucesso na germinação, enquanto o Barú foi o que menos germinou.

Tabela 2 - Análise estatística da germinação de sementes de espécies nativas semeadas em comparadas em diferentes condições de solo substrato de cultivo e entre germinação das espécies.

TRATAMENTOS	MÉDIAS	ESPÉCIE	MÉDIAS
SCR	1.7222a*	Gonçalo Alves	2.1905a*
S	1.5000ab*	Cedro	1.8095ab*
SR	1.5000ab*	Copaíba	1.5238bc*
SC	1.5000ab*	Mutamba	1.2857cd*
T	1.3889ab*	Jatobá	0.9524de*
C	1.2778ab*	Baru	0.7619e*
R	1.0556b*		

C: composto orgânico; S: sedimento; R: pó de rocha; SR: sedimento+rocha; SC: sedimento+composto; SCR: sedimento+composto+rocha; T: testemunha Latossolo Vermelho distrófico). \*Significativo para tratamentos, a 5%; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5%.

### 3.1.1. Mudras sobreviventes

Para fins de análise quantitativa, a Tabela 3 registra o número de mudras sobreviventes até a última medição, em Abril/2014. Essa análise se faz interessante para ressaltar que, não basta germinar, a planta precisa desenvolver para catalisar o processo de restauração florestal. Nesse sentido, a tabela abaixo, reforça a eficiência do tratamento sedimento+rocha (SR), que obteve o maior número de indivíduos vivos, seguido pelo sedimento+composto+rocha (SCR). Esses insumos podem otimizar o processo de estabelecimento das mudras, oferecendo nutrientes para a solução do solo a longo prazo, e assim, contempla as plantas nutricionalmente por mais tempo.

Tabela 3- Número de mudras sobreviventes até a última medição (Abril/2014).

Espécie/tratamento	C	R	S	SR	SC	SCR	T	Total
Jatobá	3	2	1	1	3	3	2	15
Gonçalo Alves	1	2	6	5	2	3	2	18
Cedro	2	2	3	7	3	3	3	20
Mutamba	0	2	2	2	1	3	2	7
Baru	3	0	0	1	0	1	1	5
Copaíba	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>65</b>

C: composto orgânico; S: sedimento; R: pó de rocha; SR: sedimento+rocha; SC: sedimento+composto; SCR: sedimento+composto+rocha; T: testemunha Latossolo Vermelho distrófico)

### 3.2. Taxa de crescimento das mudras

Cada espécie se desenvolveu de forma diferente em cada tratamento. A figura 4 apresenta o crescimento em altura (cm) das seis espécies florestais nativas do Cerrado plantadas nos diferentes tratamentos do SAF da EEP contabilizadas durante as seis medições realizadas.

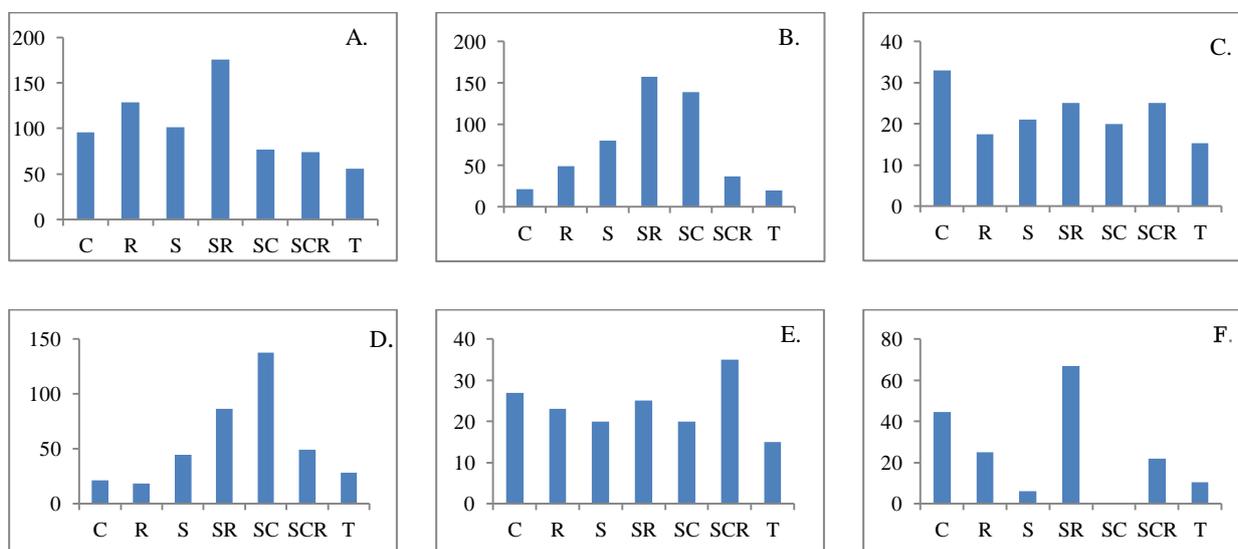


Figura 4 - Taxa de crescimento em altura (cm) das espécies florestais nativas em diferentes substratos de cultivo na formação do SAF da EEP após dois anos de monitoramento, onde A: Jatobá, B: Mutamba, C: Gonçalo Alves, D: Cedro, E: Copaíba e F: Baru.

O Jatobá, o Barú e a Copaíba são espécies secundárias/clímax enquanto o Gonçalo Alves, a Mutamba e o Cedro são espécies clímax (MMA, 2013). Dessa maneira, espera-se que as espécies pioneiras cresçam mais que as secundárias. A única espécie que contrariou essa afirmativa foi o Jatobá, que foi a espécie florestal que mais cresceu entre as demais – pioneiras e secundárias. As demais espécies pioneiras de fato cresceram mais que as secundárias.

O Jatobá apresentou o maior crescimento final (176cm) no tratamento que continha apenas sedimento (S). Já a Mutamba (157cm) e o Gonçalo Alves (62cm) cresceram mais no tratamento sedimento+rocha (SR). E o Cedro (167cm) no tratamento testemunha (T). A Copaíba (35cm) cresceu mais no insumo sedimento+composto+rocha (SCR), e o Baru (57cm) desenvolveu-se mais no composto orgânico (C).

A melhor resposta de algumas espécies à maior fertilidade do solo pode ser atribuída à sua maior taxa de crescimento, o que requer maior quantidade de nutrientes para atender à demanda nutricional. A maior disponibilidade de nutrientes permitiria, assim, a expressão do potencial de produção de biomassa das espécies de crescimento inicial mais acentuado (SILVA et al., 1997). As espécies florestais apresentaram diferentes comportamentos de crescimento nos sete tratamentos. Contudo, estatisticamente não apresentou diferença significativa entre tratamentos, mas apresentou diferenças significativas entre espécies (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise estatística da taxa de crescimento de mudas de espécies nativas semeadas comparadas nas sete condições de solo substrato de cultivo e crescimento entre espécies.

TRATAMENTOS	MÉDIAS	ESPÉCIE	MÉDIAS
SR	29.6667a*	Jatobá	32.2381a*
C	27.333a	Mutamba	31.4762ab*
S	25.5556a	Cedro	21.7619bc*
SCR	22.5a	Gonçalo Alves	19.9524cd*
T	19.1667a	Copaíba	14.2381de*
SC	15.8333a	Baru	10.8571e*
R	12.2222a		

C:composto orgânico; S: sedimento; R: pó de rocha; SR: sedimento+rocha; SC: sedimento+composto; SCR: sedimento+composto+rocha; T: testemunha Latossolo Vermelho distrófico).\*Significativo para tratamentos, a 5%.Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5%.

Vale ressaltar, que apesar da comparação entre médias dos tratamentos não apresentarem diferença significativa, observa-se diferença acentuada entre as médias encontradas para o pó de

rocha (R) e o tratamento sedimento+rocha (SR) e também entre todos os tratamentos. Em campo, nota-se essa diferença visualmente, observando-se o vigor das plantas, com uma maior quantidade de massa verde exuberante. Os tratamentos que continham sedimento+rocha (SR) possibilitou maior crescimento das plantas. Supõe-se que esse crescimento pode estar relacionado com a disponibilidade de Cálcio na solução do solo, promovido pelo sedimento.

Diferente da expectativa inicial, de que o tratamento sedimento+composto+ rocha (SCR) seria mais eficiente na disponibilização das nutrientes – e conseqüente crescimento acentuado das mudas -, seus resultados apresentaram-se em valores medianos quando comparados aos demais tratamentos. Esses resultados sugerem a adaptação das espécies florestais aos solos ácidos, pois em comparação às espécies pioneiras, as de clímax apresentam crescimento pouco influenciado pela fertilidade do solo.

Feitosa (2011) observou que o crescimento das mudas de Gonçalo-Alves não foi influenciado pelas fontes de N ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) utilizadas, mas responderam às doses de N aplicadas. Já Paiva (2000) realizou adubação de mudas de Cedro e Jatobá utilizando N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  e os resultados obtidos por ele foram inferiores aos encontrados no presente experimento.

Isso pode ser indicativo de adaptação das espécies clímax a solos pouco férteis (MARSCHNER, 1991; LAMBERS ; POORTER,1992, SIQUEIRA, et al.,1995), ou de rígido ajuste da taxa de crescimento a condições de baixa disponibilidade de nutrientes, o que restringe a sensibilidade da espécie à melhoria nos níveis de fertilidade do solo.

### **3.2. Análise de fertilidade do solo**

A Tabela 5 indica os resultados das análises químicas do solo e dos tratamentos, dos quais foram colhidos 0-20 cm de profundidade.

Tabela 5 - Resultado das análises de fertilidade do solo da EEP, do sedimento quando foi colhido em 2011 (TM7), do composto orgânico, do pó de rocha (kamafujito), e das misturas de substratos utilizados na implantação do experimento.

Característica	Solo EEP	TM7	C	R	S	SR	SC	SCR	T
pH água	4,9	5,3	5,8	6,3	6,1	6,0	5,9	5,7	5,4
pH CaCl <sub>2</sub>	4,6	4,4	4,7	5,2	5,2	5,1	5,2	4,9	5,5
M.O dag/kg	1,7	1,5	2,1	2,0	2,5	2,1	2,0	2,0	2,0
P mg/dm <sup>3</sup>	3,2	8,0	30,0	10,3	10,3	9,2	2,7	15,7	1,9
K mg/dm <sup>3</sup>	24,0	124,0	75,8	92,5	117,0	119,2	8,1	125,8	104,8
Ca <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	1,3	3,4	3,1	5,3	4,5	4,5	3,7	3,7	3,2
Mg <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,9	0,8	1,3	2	1,3	1,8	1,9	1,8	1,3
Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,1	0,4	3,0	2,7	3,0	2,6	2,7	3,4	2,9
H+Al cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	7,6	3,6	3,1	1,8	1,8	1,8	1,8	2,8	1,8
CTC <sub>t</sub> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	5,1	8,1	7,7	9,3	6,9	8,3	7,8	8,6	6,6
V %	35,0	56,0	60,0	81,0	74,0	78,0	77,0	67,0	73,0
m %	2,0	8,0	39,0	26,0	37,0	29,0	31,0	37,0	38,0

Solo EEP: Latossolo Vermelho distrófico; TM7: sedimento colhido do fundo do reservatório, em 2011; Tratamentos: C: Composto orgânico; R: Rocha; S: Sedimento; S+R: Sedimento + Rocha; S+C: Sedimento + Composto orgânico; R+C+R: Sedimento + Composto orgânico + Rocha e T: Testemunha.

A Lei do "Fator Mínimo" de Liebig menciona que a substância mineral em menor concentração relativa determina o limite para o crescimento e rendimento. No entanto, o rendimento não é limitado somente por uma substância mineral. Para a planta atingir um metabolismo balanceado, uma alta produção de matéria seca e um desenvolvimento desimpedido, não somente os nutrientes principais e os elementos traço devem estar disponíveis em quantidades suficientes, mas também devem ser absorvidos em proporções balanceadas (EMBRAPA, 2010).

Após dois anos de implantação da UD verifica-se que a acidez do solo foi equilibrada em todos os tratamentos. O pH analisado em água foi modificado, subindo de 4,9 para 6,3 no tratamento onde apenas o pó de rocha foi incluído. O pH analisado em CaCl<sub>2</sub> - que segundo Sousa et al. (2007), se assemelha à concentração da solução do solo em condições de campo - também apresentou aumento. Esse efeito também foi observado em todos os tratamentos, tanto no pH em água quanto no pH em CaCl<sub>2</sub>, sendo classificado como bom na classificação agrônômica do pH de Alvarez et al. (1999).

A acidez potencial (H+Al) do solo foi corrigida, diminuindo em até seis vezes (nos tratamentos R, S, SR, SC e T) quando comparada ao valor encontrado no solo da EEP. Nos tratamentos onde foi inserido o composto orgânico observa-se valores menores, enquanto que nos demais tratamentos esse fator apresentou resultados semelhantes. Essa queda na acidez

potencial pode evitar que os nutrientes fiquem fixados no solo, possibilitando a disponibilidade dos demais nutrientes para a solução do solo.

O alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) apresentou valores altos em todos os tratamentos onde foram inseridos o pó de rocha e o sedimento, provavelmente por causa do alto teor desse mineral no pó de rocha. Observou-se que apesar da alta quantidade de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) nos tratamentos, essa quantidade não inviabilizou o desenvolvimento das espécies florestais, sugerindo que essas podem ter características de plantas tolerantes à acidez. Os mecanismos de tolerância ao  $Al^{3+}$  são vários e não existe um único que explique por completo sua diferenciação entre espécies e variações de plantas. A tolerância ao  $Al^{3+}$  pode ocorrer em plantas eficientes em absorver e translocar o fósforo para a parte aérea (MIRANDA; ROWELL, 1989). Parte do fósforo absorvido é utilizado para precipitar o  $Al^{3+}$  próximo as raízes das plantas (MCGORMICK; BORDEN, 1974). Contudo, segundo Sousa (2007), valores de pH do solo acima de 5,5-6,0 (até 7,0), a solubilidade do alumínio é mínima.

No que se refere ao fósforo (P) e ao potássio (K), os resultados do tratamento sedimento+composto (SC) diferiram quando comparados aos demais tratamentos, pois apresentaram baixíssimos teores desse nutriente ( $2,7mg/dm^3$  e  $8,1mg/dm^3$ , respectivamente). O tratamento que foi inserido apenas o composto orgânico (C) aumentou em 89% o teor de fósforo, seguido do tratamento rocha+sedimento (RS) (65%). O tratamento que mais liberou fósforo foi o que continha composto orgânico (C) que elevou os teores de P no solo de  $3,2mg/dm^3$  para  $30mg/dm^3$ , seguido pelo pó de sedimento+composto+rocha (SCR) que aumentou para  $15,7mg/dm^3$ . Este fato concorda com, Theodoro (2000), que afirma a necessidade de ácidos orgânicos para auxiliar na disponibilização de nutrientes, especialmente P e K.

Para o potássio, os valores encontrados são sempre superiores aos valores encontrados inicialmente no solo. Ele apresentou teores de até  $125,8mg/dm^3$  no tratamento onde os três insumos foram aplicados sedimento+composto+rocha (SCR), valor 10 vezes maior quando comparado ao solo da EEP.

O cálcio, elemento essencial para o crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares, (DECHEN; NACHTIGALL, 2007) teve aumento quando comparado ao solo da EEP e à testemunha. Os maiores valores de cálcio foram encontrados no tratamento onde continha sedimentos. Possivelmente, isso ocorreu devido aos minerais secundários desse insumo, que apresenta maior solubilização que o pó de rocha (que estava em diferentes granulometrias), que ainda foi pouco intemperizado, mas disponibilizará esse nutriente para solução do solo à longo prazo.

Para Alvarez (1996) um solo que apresenta baixo V% significa que existe uma maior adsorção de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  e quantidades menores dos cátions básicos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , adsorvidos nos colóides do solo. O  $\text{Al}^{3+}$  tóxico poderá aparecer nos solos ácidos comprometendo o desenvolvimento radicular das plantas e menor absorção de água e nutrientes. O V% indica quanto por cento dos pontos de troca de cátions, nos coloides, estão ocupados por bases, ou, em outras palavras, quanto por cento das cargas negativas estão ocupadas por  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , em relação aos pontos de troca dos cátions ácidos  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ .

Segundo o manual de Embrapa (2010) a saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos eutróficos (férteis) =  $V \geq 50\%$ ; solos distróficos (pouco férteis) =  $V < 50\%$ . Os teores de saturação por bases apresentaram-se todos acima de 50%, o que indica que o solo da área apresenta, de modo geral, boas características químicas por baixa acidez e para disponibilidade de nutrientes para a solução do solo (EMBRAPA, 2010).

A matéria orgânica analisada apresentou valores semelhantes para todos os tratamentos, com maior diferença no tratamento S. Esse insumo teve papel fundamental, uma vez auxilia a solubilização das rochas por meio dos ácidos orgânicos, o que possibilita a disponibilização dos minerais para a solução do solo de forma mais rápida. Além disso, tem papel fundamental no poder de retenção de água no solo, redução da compactação do solo e aumentar a diversidade dos microorganismos no solo.

#### 4. CONCLUSÃO

- Após 26 meses condução do experimento as espécies florestais nativas da região mostraram diferentes respostas na taxa de germinação e crescimento de acordo com o tratamento e cultivo utilizado;
- A espécie que mais germinou foi o Gonçalo Alves e o tratamento sedimento+composto+rocha (SCR) foi o que se mostrou mais interessante para germinação de sementes em campo dentro dos parâmetros analisados;
- O tratamento que se mostrou mais eficiente para o crescimento das mudas foi o sedimento +rocha (SR), apresentou plantas com mais massa verde, e maior quantidade de indivíduos vivos até a última medição;

- O uso de sedimentos misturados com o pó de rocha mostrou ser uma tecnologia alternativa e sustentável como insumo agrícola, notando-se sua otimização nos processos de revegetação de áreas degradadas.

### LITERATURA CITADA

ALVAREZ V.H.; RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª. Aproximação.. Viçosa, Minas Gerais. 1999. Disponível em:<<http://pt.scribd.com/doc/58701933/5%C2%AA-Aproximacao-Manual-de-Adubacoes-PDF>> 03 de jun. 2014.

ALVAREZ, V. H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P F.; O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, 1996. p.615-119.

AZEVEDO, L.G. Ensaio metodológico de identificação e avaliação de unidades ambientais na Estação Ecológica de Pirapitinga/MG. Brasília: SEMA/EMBRAPA/CPAC. 1987. 58p.

CRUZ, C.D. Programa Genes, estatística experimental e matrizes. Editora UFV. 2006. 285p.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R.; Fertilidade do solo. Cap. III. Elementos requeridos à nutrição de plantas. 1º Edição. Viçosa, MG. 2007. p.91-132.

DIAS, L. E, Fertilidade do solo. Cap. XVII. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. 1º Edição. Viçosa, MG. 2007. p.976.

DUBOC, E.; Guerrini, I.A. Crescimento inicial e sobrevivência de espécies florestais de mata de galeria no domínio do Cerrado em resposta à fertilização. Embrapa Cerrado, Botucatu/SP. 2007. 42p.

DUTRA, T. R.; GRAZZIOTTI, P. H.; SANTANA, R.C.; MASSAD, M.D., Desenvolvimento inicial de mudas de copaíba sob diferentes níveis de sombreamento e substrato. Revista Ciência Agronômica .Fortaleza/CE. V.43, n.2. 2012.p.321-329.

EMBRAPA, Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 1º Edição. 2010.30p.

FEITOSA, D.G.; MALTONI, K. L., CASSIOLATO, A.M.R; PAIANO, M.O. Crescimento de mudas de Gonçalves Alves (*Astronium fraxiniloum*) sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. Revista Árvore, Viçosa/MG. 2011. p.401-411.

FONSECA, R.; Barriga, F.J A.S. Dos solos para os lagos artificiais: transformações mineralógicas e químicas dos materiais depositados. Actas do VI Congresso Nacional de Geologia, Volume Especial V, CD-ROM, B40-B43, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica. 2003. 26p.

FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; THEODORO, S.; CANÁRIO, T.; MORAIS, M. The Três Marias reservoir, a sink for sediments outcoming from over-erosion of soils in Minas gerais (Brazil). In: Sobral, M, Gunkel, G. (Eds.) Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany. Technical University of Berlin, Berlin, 2007. p.182-196.

FONSECA, R.; SIMÕES, C.; BARRIGA, F.J.A.S.; THEODORO, S.; MORAIS, M. Variabilidade temporal de nutrientes num lago artificial sob clima tropical seco. Departamento Geociências, Universidade de Évora e CREMINER-LA/ISR, X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa - XVI Semana de Geoquímica. 2011. 11p.

GIÁCOMO, R.G., Fitossociologia, aporte de serapilheira, estoques de carbono e nitrogênio em diferentes formações vegetais na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG. Rio de Janeiro: UFRJ. 2009. 144p.

GÖTSCH, E. O renascer da agricultura. AS-PTA, Rio de Janeiro. 1995. 22p.

LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research*, v.23, 1992, p.187-261,

LEONARDOS, O.H., FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. Rochagem: o método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. *Anais 29 Congresso Brasileiro de Geologia*, Belo Horizonte, 1976. p.137-145.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant and Soil*, v.134, 1991. p.1-20.

MCGORMIC, L.H.; Borden, F.Y. The occurrence of aluminum phosphate precipitation in plants roots. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 38:931-939, 1974.

MIRANDA, L.N.; Rowel, D.L. Aluminium-phosphate interactions in wheat plants. *New Phytol.* 1989. 113p.

MMA, Plano de manejo da estação ecológica Pirapitinga. Brasília. 2013. 216p.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Fertilidade do solo. Cap. IV Relação Solo-Planta. 1º Edição. Viçosa, MG. 2007. p.146.

OLIVEIRA, A.F.G. Teste estatístico para comparação de médias. *Revista Eletrônica Nutrime*, v.5, n.6, 2008. p.784.

PAIVA, A.V.; POGGIANI, F. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas plantadas no sub-bosque de um fragmento florestal. *Scientia Florestalis*. IPF. 2000. p.141-151,

PENEIREIRO, F. M. Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP. 1999. 148p.

SILVA, I.R.; FURTINI, N., A.E.; CURI, N.; VALE, F.R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.32, 1997. p.205-212.

SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; VALE, F.R.; FERREIRA, M.M.; MOREIRA, F.M.S. Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares. Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 28p.

SOUSA, D. M. G., Fertilidade do solo. Cap. V Acidez do solo e sua correlação. 1º Edição. Viçosa, MG. 2007. p.219.

THEODORO, S.C.H. A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília - UnB. Tese de Doutorado. 2000. 225p.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E.L.; REGO, K.G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. Revista Espaço & Geografia, V.9, n. 2, 2006. p. 263-292.