

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE
COBERTURA VEGETAL EM UMA PILHA DE
FOSFOGESSO

Marcelo Martins Pinto

Belo Horizonte

2007

AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL EM UMA PILHA DE FOSFOGESSO

Marcelo Martins Pinto

Marcelo Martins Pinto

AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL EM UMA PILHA DE FOSFOGESSO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Gerenciamento ambiental na indústria
Caracterização, prevenção e controle da poluição industrial

Orientador: Terezinha Espósito

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2007

Professor Francisco Xavier Ribeiro do Vale

Professor Gilberto Caldeira Bandeira de Melo

Professor Gustavo Ferreira Simões

Professora Terezinha Espósito - Orientadora

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer em memória a meu querido pai, Lelis, que mesmo não estando mais aqui entre nós, sempre foi um grande incentivador das minhas conquistas. E agradecendo também a minha mãe, protetora e amada.

Agradeço a minha querida esposa, Cristina, co autora de toda minha vida adulta e profissional, que com a dedicação e competência de sempre, me ajudou muito na realização deste trabalho, com a correção dos textos. E agradeço também a meus filhos Paula e Marcelo, razões de eu continuar sempre tentando melhorar.

Agradeço aos meus familiares que em diversas reuniões de família se privaram de minha presença, mas sempre tiveram para mim, palavras de incentivo. Agradeço aos meus amigos, e em especial ao Américo, que colaborou no incentivo e análise desta dissertação.

Agradeço a Fosfertil, empresa que confiou na minha capacidade técnica para desenvolver a cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso, em especial aos companheiros Marco Antônio, Juliana, Gustavo, Luiz Henrrique, Flávia e Reinaldo que tiveram uma participação direta neste trabalho. E como não poderia nunca esquecer, ao José Carlos, que apesar de não estar mais na empresa, foi o colaborador e amigo que permitiu o sucesso do trabalho.

Agradeço ao colega Paulo Abrão da Geoconsultoria, grande parceiro neste trabalho, aos meus sócios da Pedogeo, Waldemir e Paulo que contribuíram com seu conhecimento .

Agradeço a todos os professores, funcionários e amigos do Programa de Pós Graduação da Escola de Engenharia, pelo conhecimento, amizade e conselhos. Principalmente a minha orientadora Terezinha Espósito, que foi muito mais que uma orientadora, demonstrando conhecimento e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço ainda, aos professores Gustavo, Gilberto e Francisco que aceitaram serem os examinadores desta dissertação.

Enfim, sei que nomeando pessoas estou cometendo injustiças, mas agradeço a todos que por qualquer ato ou palavras tiveram a participação na minha formação como pessoa e profissional.

RESUMO

O presente trabalho mostra a metodologia empregada para a obtenção de cobertura vegetal sobre a pilha de Fosfogesso situada no Complexo Industrial de Uberaba de propriedade da empresa FOSFERTIL Fertilizantes Fosfatados S.A, visando a redução do impacto visual proporcionado pela mesma, bem como a prevenção de processos erosivos e a dispersão de particulados. Visa também avaliar esta metodologia através da análise estatística do experimento montado, avaliação da vegetação e do substrato ao longo de 4 anos de plantio.

Para tanto foi realizado um amplo diagnóstico que envolveu as pilhas de Fosfogesso de Uberaba MG e de Cubatão SP, sendo que esta segunda possuía uma cobertura vegetal formada espontaneamente, que permitiu avaliar os diversos impedimentos ao crescimento de plantas na pilha de Uberaba.

Os principais impedimentos ao crescimento de vegetação na pilha de Uberaba consistiram em um pH muito baixo, no encrostamento superficial causado pela cristalização do Fosfogesso, na ausência de estruturas e de porosidade e no desequilíbrio nutricional do substrato.

Foram realizados diversos testes para correção destes impedimentos e concluiu-se que com a correção do Fosfogesso utilizando terra, matéria orgânica, calcário dolomítico e o resíduo da lagoa de tratamento existente na empresa, obtinha-se uma cobertura vegetal com bom vigor vegetativo e que ocupava mais de 95% da superfície plantada.

Com base nestes testes foram realizados plantios definitivos na pilha durante os anos de 2002 a 2005, que permitiram avaliar o comportamento da vegetação e do substrato formado ao longo deste tempo, bem como investigar as principais causas de falhas verificadas nestes plantios.

Conclui-se neste trabalho que a metodologia de cobertura vegetal empregada foi um sucesso, não só pelo resultado da cobertura vegetal nos plantios realizados, que sempre foram superiores aos 95% da área plantada, obtidos no processo experimental, mas também porque sinaliza a possibilidade de reaplicação em outras pilhas existentes no país e no mundo, bem como em outros aterros industriais de características semelhantes.

ABSTRACT

The present work aims to show the methodology used for attainment of a vegetal covering on the Phosphogypsum stack located at the Industrial Complex of Uberaba of property of the company FOSFERTIL Fertilizantes Fosfatados S.A, aiming at the reduction of the visual impact proportionated, as well as the prevention of erosive processes and the dispersion of particles. It also aims at evaluating this methodology through the statistics analysis of the experiment, evaluation of the vegetation and the substratum throughout 4 years of plantation.

To accomplish that an ample diagnosis was made that involved the stacks of Phosphogypsum in Uberaba MG and Cubatão SP, being that this second had a espontananeously formed vegetal covering, wich allowed to evaluate the diverse impediments to the growth of vegetation in the stack of Uberaba.

The main limiting factors to the growth of vegetation in the stack of Uberaba had consisted of very low pH, the superficial crust caused by the Phosphogypsum crystallization, the absence of structures and porosity and the nutricional disequilibrium of the material, that demanded several tests to correct of these factors.

Many tests for the correction of these impediments had been carried out, where it concludes that if a correction of the Phosphogypsum using soil, organic matter, dolomitic limestone and the sludge residues from a treatment lagoon existing at the company. After these measures the vegetal covering with good vegetative vigor that it occupied more than 95% of the planted surface would be obtained.

Based on these tests definitive planting were carried through in the stack from the years of 2002 to 2005, wich allowed to evaluate the behavior of the vegetation and the substratum formed as time passed, as well to investigate the main causes of imperfections verified in these plantings.

It was concluded in this work that the employed methodology was a successful, not only for the result of the vegetal covering in the plantings that were done, wich had always been superior to 95% of the experimental process, but also because it indicates that it can be reapplied in other existing stacks in the country and the world, as well as other industrial

stacks of similar characteristics.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação	1
1.2 O Trabalho	2
1.3 A produção do Fosfogesso	3
1.4 A empresa utilizada no caso de estudo	5
1.5 Cobertura vegetal da pilha de Fosfogesso	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3 REVISÃO DA LITERATURA	11
3.1 Disposição do Fosfogesso	11
3.2 A questão mundial do Fosfogesso	12
3.3 Fosfogesso no Brasil	14
3.4 A questão ambiental do Fosfogesso	15
3.5 A questão legal relacionada ao Fosfogesso	17
3.6 A cobertura vegetal no Fosfogesso	18
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Diagnóstico da pilha de Fosfogesso	22
4.2 Teste de laboratório	23
4.3 Teste de viveiro	24
4.4 Teste experimental	25
4.5 Teste agrônômico	28
4.6 Análise estatística	32
4.7 Avaliação da vegetação	32
4.8 Avaliação do substrato	33
4.9 Avaliação das áreas de falha do plantio	34
5 RESULTADOS.....	35
5.1 Diagnóstico	35
5.2 Identificação dos impedimentos para cobertura vegetal	38
5.3 Teste de laboratório	41
5.4 Teste de viveiro	42
5.5 Teste experimental	44
5.6 Teste agrônômico	46
5.7 Plantios definitivos	49

5.8	Análise estatística	50
5.9	Avaliação da vegetação	55
5.10	Estudo de Falhas	60
5.11	Avaliação do substrato	65
6	CONCLUSÕES	79
6.1	Sobre o processo de cobertura vegetal	79
6.2	Sobre a vegetação	80
6.3	Sobre o substrato	81
7	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	83
8	REFERÊNCIA	86

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Complexo do CIU (Complexo Industrial de Uberaba) da FOSFERTIL em Uberaba	06
FIGURA 1.2 – Pilha de Fosfogesso do CIU da FOSFERTIL.	07
FIGURA 1.3 – Desenho esquemático da pilha de Fosfogesso	07
FIGURA 3.1 – Acidente ocasionado por dissolução do terreno em New Wales Florida	16
FIGURA 4.1 - Realização da mistura terra, calcário, RLT 1 e matéria orgânica	29
FIGURA 4.2 - Escarificação	30
FIGURA 4.3 - Distribuição da mistura	31
FIGURA 4.4 - Plantio manual feito a lança	31
FIGURA 5.1 - Teste realizado em latas de 20 litros para verificar a correção do gesso e adaptação de plantas	43
FIGURA 5.2 - Bloco com cinco canteiros correspondendo a 5 tratamentos no início da germinação	45
FIGURA 5.3 - Teste agrônômico	48
FIGURA 5.4 – Detalhe do plantio de 2002/2003	55
FIGURA 5.5 - Plantio de 2003/2004	57
FIGURA 5.6 - Plantio de 2004/2005	60
FIGURA 5.7 - Plantio 2005/2006	60
FIGURA 5.8 - Falha devido a exudação de água ácida ou ascensão capilar	62
FIGURA 5.9 – Falha devido ao escoamento superficial de água ácida	62
FIGURA 5.10 - Falha devido ao “Spray” da cachoeira de drenagem	63
FIGURA 5.11 - Trincheira aberta na área de vegetação do plantio de 2002	69
FIGURA 5.12 - Trincheira aberta na área de falha do plantio 2002	70
FIGURA 5.13 – trincheira aberta no plantio de 2003	71
FIGURA 5.14 - Trincheira aberta na área do plantio de 2004	72
FIGURA 5.15 - Trincheira aberta em área de vegetação do plantio de 2005	73
FIGURA 5.16 – Variação dos teores de matéria orgânica ao longo do tempo	75
FIGURA 5.17 – Variação do pH ao longo do tempo	76
FIGURA 5.18 – Variação dos teores de magnésio ao longo do tempo	77
FIGURA 5.19 – Variação dos teores de Potássio ao longo do tempo	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - Diferenças na composição das rochas fosfáticas de origem sedimentar e ígnea	04
TABELA 1.2 - Principais produtores de ácido fosfórico no mundo	05
TABELA 3.1 - Utilização de Fosfogesso no Brasil no ano de 2004	14
TABELA 4.1 – Tratamentos empregados em cada bloco do teste experimental	26
TABELA 5.1 – Resultados de análise do Fosfogesso de Cubatão e Uberaba	36
TABELA 5.2 - Comparativo das características analisadas nas pilhas de Fosfogesso de Cubatão e Uberaba	37
TABELA 5.3 - Resultados do teste de correção de pH com calcário e cal hidratado	41
TABELA 5.4 – Resultados dos testes de correção de pH com a mistura de terra e matéria orgânica	42
TABELA 5.5 – Demanda total de mão-de-obra e de equipamentos para 1 ha cobertura vegetal	47
TABELA 5.6 - Resultados da cobertura vegetal do bloco 1	51
TABELA 5.7 - Resultados da cobertura vegetal do bloco 2	51
TABELA 5.8 - Resultados da cobertura vegetal do bloco 3	52
TABELA 5.9 - Média das coberturas vegetais para os tratamentos e blocos.	53
TABELA 5.10 - Análise de variância do experimento de blocos considerando a cobertura vegetal	53
TABELA 5.11 - Resultados médios das coberturas vegetais conforme os tratamentos	54
TABELA 5.12 – Quadro resumo do levantamento de falhas	64
TABELA 5.13 – Análise de fertilidade realizada em 2005	67
TABELA 5.14 – Análise de fertilidade do levantamento de 2006	75
TABELA 5.15 – Análise de fertilidade das trincheiras em área de falha	78

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% - Por cento, percentagem
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al – Alumínio
bq - Bequerels
Ca - Cálcio
CFR – Code Federal Regulation
CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais
CIU – Complexo Industrial de Uberaba
cm – Centímetro
cm/s – Centímetro por segundo
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC – Capacidade de troca catiônica
CV – Com vegetação
dm³ – Decímetro cúbico
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral
EEUFMG – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA - Environmental Protection Agency
EUA – Estados Unidos da América
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIRP - Florida Institute Research Phosphate
FOSFERTIL – FOSFERTIL Fertilizantes Fosfatados S.A
g – Grama
GLb – Grau de liberdade de bloco
GLr – Grau de liberdade de resíduo
GLt – Grau de liberdade de tratamento
GLT – Grau de liberdade total
GO – Goiás
H – Hidrogênio
ha – Hectare
K – Potássio
Kg – Kilograma
Kg/ha – Kilograma por hectare
m – Metro
m² – Metro quadrado
m³ – Metro cúbico
m³/ha – Metro cúbico por hectare
Mg – Magnésio
MG – Minas Gerais
mm – Milímetro
mmol – Milimol
NPK – Adubo com Nitrogênio, Fósforo e Potássio
P – Fósforo
P₂O₅ – Óxido fosfórico
pH – Potencial Hidrogeniônico
PRNT – Poder real de neutralização total
QMb – Quadrado médio dos blocos

QMr – Quadrado médio dos resíduos
QMt – Quadrado médio dos tratamentos
RLT – Resíduo da lagoa de tratamento
S – Enxofre
SP – São Paulo
SQb – Soma dos quadrados dos blocos
SQr – Soma dos quadrados dos resíduos
SQt – Soma dos quadrados dos tratamentos
SQT – Soma dos quadrados total
SV – Sem vegetação
t – Tonelada
t/ha – Tonelada por hectare
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Esta dissertação é constituída de sete capítulos em que se apresenta um trabalho de pesquisa realizado para obtenção de cobertura vegetal sobre uma pilha de Fosfogesso, bem como a avaliação da metodologia utilizada para este processo.

Neste capítulo um, intitulado de introdução, além desta apresentação inicial, é feito um breve relato do trabalho propriamente dito, onde o autor explica os motivos que o levaram a escolher este tema para sua dissertação. Diz ainda, do processo de produção e disposição do Fosfogesso, descreve a empresa proprietária da pilha de Fosfogesso do caso em estudo e termina com a questão da cobertura vegetal nesta pilha.

No capítulo dois, são apresentados os objetivos gerais e específicos que se pretende alcançar com o presente trabalho.

No capítulo três é apresentada a revisão de literatura referenciada neste trabalho, que procura tratar da disposição do subproduto em questão, o Fosfogesso, de trabalhos de pesquisa, dos aspectos ambientais, das questões legais relacionadas com o Fosfogesso numa situação mundial e no Brasil, terminando com uma abordagem dos trabalhos realizados sobre a cobertura vegetal em pilhas de Fosfogesso.

No capítulo quatro descreve-se o processo metodológico utilizado na obtenção da cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso, com a realização de vários testes. Faz-se ainda a avaliação deste processo com análise estatística do teste experimental, análise da vegetação, do substrato e das falhas verificadas nos plantios realizados durante quatro anos.

O resultado deste processo é apresentado no capítulo cinco, iniciando-se com um diagnóstico realizado nas pilhas de Fosfogesso de Uberaba-MG e de Cubatão-SP, que permitiram identificar os fatores limitantes para a cobertura vegetal na pilha de Uberaba. Logo após, são apresentados os resultados dos testes realizados inicialmente em laboratório, do teste de viveiro, do teste experimental feito em campo e do teste agrônomico. Neste capítulo apresenta-se ainda os resultados dos processos de avaliação, que consistiram na análise estatística dos resultados obtidos no teste experimental, na análise da vegetação presente nos

plantios definitivos, na análise do substrato ao longo do tempo e finalmente na análise das falhas verificadas nestes plantios.

Nos capítulos seis e sete são apresentadas as conclusões deste trabalho, demonstrando que os objetivos propostos foram alcançados. São relatadas diversas recomendações visando garantir a continuidade da vegetação na pilha de Uberaba de forma sustentável. Finalmente são sugeridos alguns temas para pesquisas futuras.

1.2 - O trabalho

Os trabalhos de implantação de cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso tiveram início no ano de 1999, para atender uma demanda específica da empresa FOSFERTIL- Fertilizantes Fosfatados S.A.- FOSFERTIL. Tratava-se de uma situação inédita no Brasil, uma vez que naquele momento não existia nenhum trabalho deste tipo de cobertura no país. A referência que se tinha sobre cobertura vegetal em pilhas de Fosfogesso era no estado americano da Flórida, utilizando uma metodologia muito onerosa.

Em 2005, o responsável pelo desenvolvimento deste trabalho ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - SMARH, e tendo em vista o caráter inédito da metodologia utilizada na implantação da cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso, resolveu utilizá-la como tema de sua dissertação de curso, introduzindo diversos aspectos para sua avaliação e dando assim um caráter técnico-científico ao processo, que até então vinha sendo feito de forma empírica.

O período de dois anos de permanência em um curso de mestrado é muito curto para o desenvolvimento de trabalhos com o uso de cobertura vegetal, uma vez que demanda um período de preparação e diversos ciclos vegetativos para obtenção dos dados e consolidação dos mesmos. No caso específico da pilha de Fosfogesso, foram necessárias as realizações de vários testes de laboratório e de campo, com a verificação de um ciclo vegetativo completo com duração de pelo menos um ano, e os plantios definitivos para obtenção dos dados utilizados na avaliação da metodologia.

No entanto, este trabalho pôde ser concluído, por ter sido iniciado seis anos antes do ingresso do autor no curso de mestrado, permitindo que as diversas etapas necessárias fossem

cumpridas. Todos os procedimentos deste trabalho foram desenvolvidos pelo autor e é pela primeira vez que os mesmos são divulgados para comunidade técnico-científica, através dessa dissertação, imprimindo o caráter inédito dos mesmos. Os resultados apresentados são frutos de sete anos de pesquisa, através do desenvolvimento de uma metodologia, com testes em laboratório e em campo e seu emprego durante quatro anos de plantios definitivos. Isto permitiu a obtenção de uma diversidade de dados capaz de comprovar a eficiência da metodologia.

1.3 A produção de Fosfogesso

A geração de resíduos sólidos sempre foi considerada um aspecto desencadeador de vários impactos ambientais, merecendo destaque na avaliação dos empreendimentos sob o ponto de vista de viabilidade e controle ambiental. Ao longo dos últimos vinte anos, diversas têm sido as tentativas de reduzir a geração de resíduos industriais, quer pela melhoria de processos, quer pela reutilização dos resíduos em outras atividades. Atualmente procura-se reduzir os resíduos com a utilização de tecnologia limpa ou melhorando o gerenciamento de resíduos em todas as unidades das empresas.

Muitas indústrias, pelo fato de gerar grandes quantidades de resíduos e não possuir mercado suficiente para estes, são obrigadas a dispor seus resíduos de forma adequada, arcando com os custos e seu gerenciamento. Um exemplo disto é o caso do Fosfogesso, resíduo proveniente da indústria de fertilizantes. Os fertilizantes são produzidos a partir da fabricação do ácido fosfórico, que por sua vez, usa como matéria prima rochas fosfáticas. A rocha fosfática ocorre sob duas formas, uma sedimentar, constituída basicamente de restos de peixes e outros organismos marinhos, e a outra de origem ígnea, através de intrusões magmáticas. Dependendo da origem, podem ocorrer teores diferenciados de anidro fosfórico – P_2O_5 que varia de 22 a 45 %.

A diferença entre estas rochas também se torna interessante devido a outros elementos em sua composição, principalmente aqueles indesejados, que influenciarão diretamente na qualidade do Fosfogesso estocado. Na Tabela 1.1 é apresentada a diferença da composição mineral destas duas rochas. Esta diferença deve ser considerada, uma vez que no Brasil as rochas são de origem ígnea, possuindo menor radioatividade e menores teores de Flúor, o que torna o

Fosfogesso muito menos perigoso que na Europa, Estados Unidos e Marrocos cuja rochas são de origem sedimentar.

Tabela 1.1 - Diferenças na composição das rochas fosfáticas de origem sedimentar e ígnea

	<i>Rochas Sedimentares</i>	<i>Rochas Ígneas</i>
Principais Constituintes	% em peso	% em peso
Fosfato	30-37	35-40
Cálcio	46-52	48-54
Flúor	3-4	1-4
Elementos traços	Ppm	Ppm
Arsênio	10-20	1-10
Cádmio	5-50	0-2
Mercúrio	<0,2	<0,1
Metais Pesados (Pb,Zn,Cu,Ni,Cr)	200-800	1400-6300
Terras Raras	100-900	1400-6300
Radioatividade (Bq/Kg. Ra 226)	700-1400	10-110

Fonte Tomaz (2006)

Apesar do Fosfogesso possuir diversas utilizações, ele é tratado como subproduto da fabricação do ácido fosfórico e disposto em pilhas em áreas abertas, já que seu aproveitamento é muito menor que sua produção. Smith (2006) descreve os principais processos de obtenção de ácido fosfórico no mundo, sendo que hoje são utilizados mais frequentemente os processos hemi-hidratado e di-hidratado. Estes processos têm como princípio o ataque do ácido Sulfúrico sobre a rocha fosfática, tendo como produto o ácido fosfórico e como subproduto o sulfato de cálcio, mais conhecido como Fosfogesso. A relação média de produção nas plantas de ácido fosfórico no mundo é de 1:4,5, ou seja, para cada tonelada de ácido produzida se produz 4,5 t de Fosfogesso..

Smith (2006) mostra que a mudança de processo para retirada de ácido fosfórico seria muito difícil, já que as tecnologias existentes datam da década de 70 e pouco se tem feito para mudanças nestes processos. Comenta ainda a dificuldade para obter investimentos necessários em pesquisa para este fim, já que a perspectiva de implantação de novas plantas de ácido fosfórico no mundo não é muito grande.

O maior produtor de ácido fosfórico do mundo, segundo Tomaz (2006), é o EUA, com grande parte de sua produção realizada no estado da Flórida, seguido de Marrocos, Rússia, China e Índia, sendo o Brasil o nono produtor mundial, como pode ser verificado na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 - Principais produtores de ácido fosfórico no mundo

<i>Produção de</i>	<i>Ácido fosfórico</i>	<i>No Mundo</i>
Classificação / País	Tonelada de P_2O_5	Percentual da produção Mundial
1º EUA	12.232.000	30%
2º Marrocos	3.488.000	9%
3º Rússia	3.378.000	8%
4º China	3.190.000	8%
5º Índia	1.819.000	5%
9º Brasil	931.000	2%
Total Mundial	40.259.000	

Fonte Tomaz 2006

No Brasil, atualmente existem três empresas produzindo ácido fosfórico, conseqüentemente com geração de Fosfogesso: a FOSFERTIL, com unidades em Uberaba, MG e Cubatão, SP; a COPEBRAS LTDA, com unidades em Cubatão, SP e Catalão, GO e a BUNGE com uma unidade em Cajati, SP. Existe ainda um depósito de Fosfogesso em Imbituba, SC, pertencente a ENGESUL, já com a fabricação de ácido fosfórico paralisada, gerenciando seu depósito até hoje e comercializando o Fosfogesso.

1.4 – A Empresa utilizada como caso estudo

A FOSFERTIL Fertilizantes Fosfatados S.A. é uma empresa que tem por finalidade principal a produção de produtos químicos, destacando a produção de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, com unidades implantadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Goiás.

Empresa de sociedade anônima, a FOSFERTIL, tem sua divisão acionária compartilhada entre o grupo FERTIFOS, a BUNGE e acionistas independentes. É líder de mercado no setor de fornecimento de matéria prima para fertilizantes formulados, com uma gama muito grande de produtos.

Com três unidades mineroquímicas, que compreendem a extração e beneficiamento da rocha fosfática, a FOSFERTIL tem capacidade de abastecer suas unidades produtoras de fertilizantes fosfatados, cujo principais produtos são: super fosfato simples, super fosfato triplo, mono-amônio-fosfato, di-amônio-fosfato.

Matéria prima dos fertilizantes fosfatados de alta solubilidade, o ácido fosfórico, tem sua produção feita em duas unidades da FOSFERTIL, situadas em Cubatão e Uberaba. O Complexo Industrial de Uberaba – CIU é a maior unidade de produção de ácido fosfórico do Brasil, com a capacidade de produção de 700.000 t por ano, conseqüentemente produzindo cerca de três milhões de toneladas de Fosfogesso por ano. Este complexo pode ser visto na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Complexo do CIU (Complexo Industrial de Uberaba) da FOSFERTIL em Uberaba

Um dos grandes desafios da unidade de Uberaba é a disposição final do Fosfogesso, pois mesmo com um incentivo grande para venda desse subproduto, a empresa vem conseguindo colocar no mercado apenas 25% de sua produção, sendo obrigada a estocar o excedente em uma pilha, que hoje ocupa uma área superior a 1.000.000 m² com altura média de 30 m, como pode ser verificado nas Figuras 1.2 e 1.3.



Figura 1.2 – Pilha de Fosfogesso do CIU da FOSFERTIL.



Figura 1.3 – Desenho esquemático da pilha de Fosfogesso

1.5 – Cobertura vegetal da pilha de Fosfogesso

A pilha de Fosfogesso da unidade da FOSFERTIL foi considerada por muitos ambientalistas da região e do estado como um dos maiores impactos negativos de natureza visual no estado, além de ser uma fonte de particulados e de fornecimento de sedimentos. Apesar dos inúmeros esforços da empresa no tocante ao seu controle ambiental, a percepção da sociedade era esta. Em 1999, a promotoria de meio ambiente de Uberaba acionou a empresa à dar solução aos impactos da pilha. Além disto, a cobertura vegetal das pilhas de Fosfogesso passou a ser uma das condicionantes da licença ambiental no complexo industrial de Uberaba, exigência esta feita pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, órgão ambiental do estado de Minas Gerais.

Entretanto, não existia no Brasil, nenhuma experiência de cobertura vegetal neste tipo de depósito. Os técnicos da empresa conheciam apenas o processo de implantação de cobertura vegetal em pilhas de Fosfogesso da Flórida nos Estados Unidos, que utilizava uma metodologia bastante onerosa para as condições brasileiras. Diante deste impasse, a empresa contratou a Pedogeo Consultores Associados, na pessoa do Engenheiro Agrônomo Marcelo Martins Pinto, autor da presente dissertação, para elaborar um processo de cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso do CIU. Desta forma foram iniciados diversos trabalhos na FOSFERTIL para obtenção da cobertura vegetal da pilha em Uberaba, que vêm sendo conduzidos desde o ano de 1999 e devem se estender até o ano de 2010, quando se espera que todas as faces da pilha estejam cobertas com vegetação. As fases deste trabalho consistiram na realização de testes experimentais, de teste agrônômico e, enfim, nos plantios definitivos.

Apesar dos bons resultados obtidos, os trabalhos realizados vinham tendo o caráter eminentemente de consultoria (engenharia conceitual), sem um procedimento científico mais aprofundado que permitisse ampliar o alcance dos resultados, garantir sua portatibilidade e definir suas limitações. Em Março de 2005, o referido consultor ingressou no programa de Pós Graduação da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, na área de concentração em Meio Ambiente e propôs desenvolver seu trabalho de investigação na forma de um estudo para avaliar a metodologia de implantação da cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso de Uberaba. Desta forma, a pesquisa por trás da presente dissertação pode ser dividida em duas etapas, uma anterior a 2005, compreendendo o processo de obtenção da cobertura vegetal, e outra após 2005, em que se apresenta a avaliação deste processo. Esta

última consistiu em uma ampla avaliação da literatura existente sobre o Fosfogesso, a análise estatística dos dados obtidos na primeira fase, bem como a avaliação do comportamento dos plantios anteriores e dos plantios realizados em 2005 e 2006.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a obtenção de uma cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso situada no Complexo Industrial de Uberaba, pertencente a FOSFERTIL, com a finalidade de reduzir os impactos ambientais proporcionados pela mesma, notadamente o impacto visual, bem como tornar a pilha mais resistente a processos erosivos e prevenir a emissão de particulados.

Consiste ainda deste objetivo, uma análise da metodologia adotada, verificando aspectos relativos à vegetação criada e ao substrato formado ao longo dos anos, de forma a permitir sua aplicação em pilhas semelhantes, bem como nos demais aterros industriais existentes.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as condições físico-químicas do Fosfogesso estocado, de forma a verificar os principais impedimentos ao crescimento vegetativo sobre o mesmo;
- Verificar os procedimentos para correção ou eliminação dos impedimentos existentes para crescimento vegetativo no gesso;
- Verificar os componentes principais para a formação de um substrato capaz de manter a cobertura vegetal no Fosfogesso ;
- Avaliar o comportamento da vegetação implantada verificando as modificações da mesma ao longo do tempo;
- Avaliar as mudanças ocorridas no Fosfogesso após o plantio e o comportamento do mesmo ao longo dos anos;
- Verificar os procedimentos a se adotar para manutenção e continuidade da cobertura vegetal após anos de plantio.

3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 – *Disposição do Fosfogesso*

Neste trabalho, área degradada é conceituada como uma área que não consegue manter uma vegetação auto-sustentável, sendo um impacto ambiental negativo e que causa desequilíbrio no ecossistema local. A recuperação de áreas degradadas no Brasil teve sua origem em 1978, no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), associando a obrigatoriedade de apresentação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas PRAD para obtenção do decreto de lavra, e posteriormente se estendeu para as demais áreas. Hoje, o PRAD tem sido uma exigência em todos os projetos de controle ambiental sujeitos a licenciamento ambiental, principalmente no estado de Minas Gerais.

Um dos fatores antrópicos de degradação de áreas é a estocagem de resíduos sólidos sobre o solo. Desta forma, a pilha de Fosfogesso constitui uma área degradada, portanto passível de recuperação. As indústrias de fertilizantes, produtoras de ácido fosfórico em todo mundo, convivem com o problema da disposição de gesso, no caso, o Fosfogesso, que é o sulfato de cálcio proveniente do ataque de ácido sulfúrico sobre a rocha fosfática (Apatita), gerando o ácido fosfórico (produto básico dos fertilizantes fosfatados) e o Fosfogesso (subproduto). O Fosfogesso, apesar de ter inúmeras aplicações, tem uma demanda de mercado hoje muito pequena em relação à quantidade produzida. A solução é o estoque do excedente. Segundo Wissa (1977) estima-se que no mundo haja uma produção anual de 22 milhões de toneladas de ácido fosfórico, com a geração aproximada de 110 milhões de toneladas de Fosfogesso, sendo que a maioria deste é disposto em pilhas. Tomaz (2006) mostra que a produção mundial aumentou para aproximadamente para 40 milhões de toneladas de anidro fosfórico - P_2O_5 que equivale a uma produção de 160 milhões toneladas de Fosfogesso.

De acordo com a NBR 10004 da ABNT (2004) que trata da classificação de resíduos, o Fosfogesso é classificado como resíduo classe IIa não inerte, e portanto, necessita de cuidados especiais para seu manuseio e armazenamento. No Brasil, atualmente existem três empresas que produzem o ácido fosfórico a partir de ataque sulfúrico da Apatita, que são: Copebras, com unidades em Cubatão e Catalão; Fosfertil, com unidades em Uberaba e Cubatão, e a Bunge, com unidade em Cajati. A unidade de Uberaba pertencente a Fosfertil é a maior de

todas, com atualmente três plantas de ácido fosfórico e uma produção anual aproximada de 700.000 t gerando 3.000.000 t de Fosfogesso aproximadamente.

Smith (2005) apresenta as diversas formas de disposição de gesso nas principais plantas de ácido fosfórico no mundo, sendo que seu lançamento em corpos hídricos era muito comum até a década de 60. Na Europa, verificava-se o lançamento do Fosfogesso no mar, aproveitando a grande capacidade de diluição do oceano. No entanto, devido à presença de radionuclídeos, de flúor e de metais pesados, este procedimento foi proibido a partir dos anos 80. O lançamento de Fosfogesso no mar ainda é verificado em Marrocos, no norte da África. Na Austrália, verifica-se o lançamento de Fosfogesso em forma de “dry-Stack”, nas áreas desérticas próximas às plantas de produção de ácido fosfórico, bem como o empilhamento a seco, mas sem controle. Ainda, segundo Smith (2005), a forma de disposição mais comum tem sido o empilhamento, que pode ser realizado por via úmida ou via seca. A via úmida consiste no bombeamento de uma pasta de Fosfogesso contendo cerca de 25% de material sólido e 75% de água, para uma lagoa onde o mesmo é decantado e posteriormente construídos diques com alteamento para montante com o próprio Fosfogesso. A via seca consiste em aterros controlados, cujo transporte é feito por correias transportadoras ou por caminhões.

3.2 – A questão mundial do Fosfogesso

As pesquisas sobre o Fosfogesso têm sido feitas principalmente no tocante ao seu aproveitamento em outras atividades, como na agricultura e na construção civil, como forma de eliminar os estoques existentes e evitar a formação de novos estoques. Charmichael (1988) apresenta um estudo da produção e das principais utilizações do Fosfogesso no mundo, mostrando as experiências de vários países no tratamento deste produto, destacando-se o uso na agricultura, na construção civil, na produção de celulose, na indústria cimenteira e na construção de estradas. Collings (1980) descreve que o Canadá possui mais de cinquenta milhões de toneladas de Fosfogesso estocadas, e que o país está desenvolvendo pesquisas para sua utilização, mas ainda possui entraves legais em relação à liberação ambiental. Myamoto (1980) mostra que no Japão, a produção e o consumo de Fosfogesso são praticamente iguais, sendo que os principais usos são na indústria de cimento, na produção de painéis e na agricultura. Beretka (1980) esclarece que na Austrália são produzidos cerca de 840.000 t de Fosfogesso por ano, sendo que 150.000 t são usados na indústria de painéis, de cimento e

agricultura, 199.000 t são lançados no mar, 400.000 t são dispostas em pilhas e o restante disposto em solo em forma de “Dry-Stack”.

O Florida Institute Research Phosphate - FIRP, instituição criada pelo governo da Flórida com apoio das indústrias de Fosfato, desenvolve diversos estudos de utilização de Fosfogesso nos Estados Unidos. Nesse contexto, Chang e Chin (1989) mostraram grandes vantagens de uso do Fosfogesso, comparativamente a outros materiais, em mistura com o asfalto, bem como no preparo de base para estradas vicinais na Flórida. Além da durabilidade destas estradas há uma redução dos custos de implantação. Este trabalho faz um comparativo do Fosfogesso em substituição ao cascalho de calcário, principal rocha disponível na região da Flórida, para este tipo de construção. Isto permitiu uma destinação mais nobre para pilhas de Fosfogesso e reduziu os impactos pela exploração de recursos naturais, neste caso o calcário. Os trabalhos desenvolvidos no FIRP para a produção de agregados para base para rodovias, para produção de painéis entre outros, mostram um espectro muito grande de aplicação deste produto neste ramo de atividade.

Traxler (1996), também patrocinado pelo FIRP, fez um estudo econômico da utilização do gesso na agricultura, colocando o produto como fonte de enxofre, colaborando para a melhoria do solo. Verificou um acréscimo em produção de amendoim e a redução dos custos de estocagem daquele subproduto, permitindo um ganho de aproximadamente dezessete milhões de dólares anualmente. Ainda quanto ao seu uso na agricultura, outros trabalhos foram realizados pelo FIRP, mostrando que o gesso é um bom corretivo de solo quando usado com o calcário, excelente fonte de enxofre, além de um bom condicionador para reter mais água no perfil do solo.

Lloyd (1996) apresenta em seu artigo diversos outros estudos em andamento nesse Instituto para o uso de Fosfogesso, baseado principalmente nos processos químicos de produção de ácido Sulfúrico a partir do subproduto. Ele mostra que este processo é bem conhecido e já foi utilizado na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial e hoje vem sendo utilizado pela Índia. Mas, mesmo assim, a utilização do Fosfogesso hoje nos Estados Unidos, segundo Rosnick (2006) é bastante restrita, liberada apenas para o uso na agricultura e para a elaboração de pesquisas, quando comprovada baixa radioatividade. Qualquer outro uso deverá ser estudado caso a caso para sua liberação pela Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos EPA .

Dentro deste contexto, Ataíde (2005) elaborou uma revisão bibliográfica das principais utilizações do Fosfogesso no Brasil e no mundo, mostrando que seu principal uso está na agricultura. Em segundo plano, vem a indústria de cimento e a construção civil e, em menor grau, a produção de painéis e aglomerados. O autor cita também, o processo de recuperação de enxofre hoje feito na Índia, mas que ainda não tem se mostrado econômico.

3.3 - O Fosfogesso no Brasil

A antiga Petrofertil, proprietária da Arafertil, Ultrafertil e Fosfertil, patrocinou por anos seguidos a pesquisa de utilização do Fosfogesso, principalmente na agricultura, realizando inclusive dois seminários sobre o assunto. Destacam-se as contribuições dadas por Malavolta (1992) e por Sumner (1992), na adição de Fosfogesso ao calcário como corretivo do solo, como fonte de enxofre e para melhorias das condições físicas e químicas do perfil do solo. Isso desencadeou a utilização deste produto para agricultura, principalmente nos solos de cerrado.

Cunha (2005) apresenta um quadro de consumo deste produto, dividindo a utilização no solo, como fertilizante, e os demais usos (indústria cimenteira, painéis e outros), como químico, conforme pode ser verificado na Tabela 3.1

Tabela 3.1 - Utilização de Fosfogesso, no Brasil, no ano de 2004

<i>Produtor</i>	<i>Local</i>	<i>Químico</i>	<i>Fertilizante</i>	<i>Total</i>
Fosfertil	Piacaguera	25.000	523.000	548.000
	Uberaba	120.000	421.000	541.000
	Total	145.000	944.000	1.089.000
Engesul	Imbituba	40.000	25.000	65.000
Copebras	Cubatão	27.000	383.000	410.000
	Catalão	60.000	351.000	411.000
	Total	87.000	734.000	821.000
Bunge	Cajati	383.500	500	384.000
Total Geral		655.500	1.703.500	2.359.000

Fonte – Cunha (2005)

Ainda no Brasil, outros estudos vêm sendo desenvolvidos para aplicação de Fosfogesso. Na área da construção civil destacam-se os trabalhos realizados por Rosseto (2005), que apresenta as propriedades construtivas do Fosfogesso. Silva (2005) realizou um experimento com o uso do Fosfogesso em construção de casa popular, que vem sendo desenvolvido pela

Comissão Nacional de Energia Nuclear CNEN, no laboratório de Poços de Caldas. Garagani (2005) apresenta uma alternativa de utilização do Fosfogesso como base e sub-base de leitos de estradas, sendo uma alternativa para as áreas do litoral paulista, principalmente na região da baixada Santista, que dispõe de pouco material para este fim.

3.4 – A questão ambiental do Fosfogesso

Em relação à análise ambiental da disposição do Fosfogesso, Freitas (1986) faz um relato dos impactos ambientais da disposição do Fosfogesso no mundo, alertando para os diversos problemas enfrentados pelos diferentes países produtores, destacando o Brasil. Neste contexto, mostra que a disposição pode ser feita de diversas formas, porém a mais comum em todo mundo é o empilhamento a seco ou via úmida, ocupando normalmente grandes áreas próximas às unidades produtoras e exigindo a retirada da vegetação e conseqüentemente da fauna existente no local. Outro impacto importante deste processo é a percolação de água ácida, que pode vir a contaminar o solo e o lençol freático e atingir os mananciais de água próximos às pilhas, alterando a qualidade das águas, principalmente em relação ao pH e à elevação dos níveis de sulfato, cálcio, fósforo e flúor.

A radioatividade é também um aspecto mencionado por Freitas (1986) como uma das preocupações ambientais relacionadas à disposição de Fosfogesso. No entanto, tendo em vista que a exploração de rocha fosfática no Brasil provém quase que em sua totalidade de rochas ígneas, o nível de radioatividade no Fosfogesso situa-se, em geral, abaixo dos parâmetros que levariam a uma preocupação com este problema, apesar de ainda não se dispor de uma norma ou parâmetro legal para as emissões radioativas deste produto no Brasil. Outro impacto mencionado pelo autor é na paisagem, devido a alteração morfológica do local, pois as pilhas de Fosfogesso são de grande dimensão, acima dos cinquenta hectares, formando uma montanha branca e cinza que se destaca de forma inconveniente no ambiente onde está inserida.

Wissa e Fuleiham (1999) descrevem como principais impactos ambientais da pilha de Fosfogesso, a percolação de água ácida para o solo e a contaminação dos corpos de água pelo escoamento superficial da pilha. Citam ainda o problema da radioatividade, que no caso das pilhas da Flórida é mais acentuado, devido à utilização de rochas sedimentares. O impacto visual, a erosão e a emissão de particulados são outros aspectos relatados pelos autores. A

ocorrência de dissolução do terreno também é outro impacto apontado, já que na Flórida, as pilhas de Fosfogesso são implantadas em terrenos cársticos que estão sujeitos a este tipo de fenômeno, sendo inclusive já registrado uma ocorrência desta natureza, conforme pode ser visto na Figura 3.1.



Figura 3.1 – Acidente ocasionado por dissolução do terreno em New Wales Florida
Fonte: Smith (2006)

Dooris et al (2000) fazem um comparativo dos impactos ambientais das pilhas de Fosfogesso e áreas de empréstimo, envolvendo os diversos atores do meio ambiente. Concluem que os impactos relativos às questões visuais e alteração de flora e fauna são muito semelhantes, no entanto, os aspectos de contaminação de corpos de água aumentam a preocupação em relação às pilhas de Fosfogesso. May e Sweeney (1980), destacam em seu trabalho que o Fosfogesso ocupa uma área aproximada de 1.500 ha de terra na Flórida, com uma estocagem de 334 milhões de toneladas. Isto ocasiona diversos problemas relacionados ao uso e ocupação do solo, interferências na flora e fauna local, alteração da paisagem, emissão de particulados e contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

3.5 – A questão legal relacionada ao Fosfogesso

A disposição e o uso do Fosfogesso têm sido motivos de inúmeras controvérsias no mundo inteiro, sendo que em diversos lugares, estas questões têm sido regulamentadas por legislações específicas.

Na Europa, até a década de 80, era permitida a disposição deste sub-produto no mar e nos grandes mananciais de água, porém, tendo em vista a mobilização dos movimentos ambientalistas europeus, esta prática foi banida de todo continente. Atualmente a assembléia da comunidade européia vem discutindo a proibição de estocagem de Fosfogesso no continente. Já foi dado um passo para alcançar este objetivo, pois o Fosfogesso foi considerado como resíduo perigoso, tendo em vista sua concentração de radionuclídeos e metais pesados.

Rosnick (2006) cita que nos Estados Unidos o Fosfogesso é regulamentado pelo Code of Federal Regulations - CFR, que preconiza que o Fosfogesso deve ser obrigatoriamente armazenado em pilhas. Sua utilização é permitida na agricultura, desde que apresente níveis baixos de radiação ($< 0,37$ bq/g), em pesquisa e em situações especiais que são autorizadas caso a caso.

Diversos países têm tido uma legislação diferenciada para a questão do Fosfogesso. No Canadá o uso do Fosfogesso ainda é proibido, no Japão ele é incentivado, inclusive para evitar a formação de estoques, ao passo que em Marrocos, segundo produtor mundial de ácido fosfórico, o lançamento deste produto ainda é feito no oceano Atlântico, não havendo ainda nenhuma regulamentação a este respeito.

No Brasil, segundo EMBRAPA (2006), a questão de resíduos é regulamentada pelas seguintes leis: lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981 - política nacional do meio ambiente; lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 – lei de crimes ambientais; resolução CONAMA 313/2002 que dispõe sobre o "Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais"; resolução CONAMA 06 de 15 de junho de 1988, que disciplina o processo de licenciamento ambiental de atividades industriais.

Atualmente, existe um grupo no Brasil, a Rede Cooperativa Fosfogesso Brasil, que está tentando criar uma regulamentação sobre o Fosfogesso, principalmente devido à presença de radionuclídeos em sua composição. Este grupo promoveu um Workshop, denominado “Desafios tecnológicos para o reaproveitamento do Fosfogesso” e o “Seminário Internacional sobre o uso do Fosfogesso”, cujo objetivo final foi estabelecer critérios para o uso deste subproduto, pois atualmente não possui nenhuma restrição. Durante estes eventos não foi apresentado nenhum trabalho que evidenciasse algum tipo de problema com a utilização do Fosfogesso.

3.6 – A cobertura vegetal em pilha de Fosfogesso

Richardson (1977) desenvolveu estudos para obtenção de cobertura vegetal em pilhas de Fosfogesso, utilizando duas pilhas na Califórnia, uma da US Agri-Chemicals Bartow, que se encontrava inativa, e outra da IMC- Agrico New Wales, que se encontrava em atividade. Os experimentos se iniciaram em casa de vegetação e na caracterização dos produtos de cada pilha. Em relação ao pH, verificou-se que o mesmo estava em torno de 4,0 ou mais na pilha inativa ou velha, e entre 2,8 a 4 na pilha ativa ou nova. Foram feitos então estudos para a elevação do pH, fazendo correção com calcário no caso da pilha nova e concluindo que o plantio sobre o Fosfogesso só seria viável se o pH estivesse acima de 4,0, sendo recomendável que ficasse próximo a 5,0.

Na segunda fase, o autor conduziu um experimento de campo, em cima da pilha velha, com pH igual a 5,0. Foram construídos canteiros com diversos tratamentos: um com o gesso puro como testemunha; um com aplicação de calcário de uma tonelada por acre, correspondendo a 2,47 toneladas por hectare; um com 5,08 cm (2 polegadas) de composto de lixo; um com 5,08 cm (2 polegadas) de estéril arenoso e um com 5,08 cm (2 polegadas) de solo. Após dois anos de condução do experimento, os autores não verificaram diferenças estatísticas entre os tratamentos, ou seja, a população de plantas nos canteiros com tratamentos não apresentavam diferenças estatísticas de um tratamento para o outro, nem com o tratamento de controle.

Como conclusão dos trabalhos, Richardson (1977) afirma que a cobertura vegetal em uma pilha de gesso pode ser obtida se o pH for acima de 4,0, mas o desejável é que esteja acima de 5,0. Nestas condições deve-se perseguir a melhora do meio ácido do Fosfogesso. O trabalho traz também diversas considerações sobre o equilíbrio químico que se deve buscar quando da

implantação de uma cobertura vegetal sobre uma pilha de Fosfogesso, principalmente no fornecimento de nitrogênio, e potássio, já que o meio normalmente é pobre destes elementos.

Patelf et al. (1985), também através do FIRP, iniciaram um estudo das diversas propriedades do Fosfogesso, visando o descomissionamento das pilhas. Neste estudo, através de testes em laboratório, verificaram os possíveis tratamentos para redução do coeficiente de permeabilidade do Fosfogesso, de forma a atingir as exigências da EPA, que é de 10^{-6} cm/s, para o fechamento da pilha. Os autores indicaram que a simples compactação do Fosfogesso não permite alcançar esta grandeza, e que para tanto, alguns aditivos podem ser usados, sendo necessária a comprovação em campo.

O grande interesse deste estudo de Patelf et al (1985) era descobrir procedimentos que substituíssem a necessidade de instalar geomembranas sobre a superfície do gesso, que constitui hoje o maior custo no caso de descomissionamento de pilhas. Os autores concluíram que a mistura de argila fosfática, em uma quantidade de 15% de argila e 85% de Fosfogesso compactados, podem atingir permeabilidades da ordem de 10^{-7} cm/s. Verificaram ainda que esta permeabilidade também pode ser obtida com a adição de 10% de bentonita no Fosfogesso, porém a argila fosfática possui um custo muito inferior. Neste mesmo estudo, foi verificada a possibilidade de ocorrência de trincas na área compactada da pilha de Fosfogesso, que poderiam inviabilizar a redução da permeabilidade. Os resultados obtidos em laboratório não indicaram tal possibilidade.

Patelf et al (1985) demonstraram que a cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso é sempre recomendada, pois com o aumento da evaporação proporcionada pela evapotranspiração, há uma redução da quantidade de água a ser percolada e do potencial erosivo da camada de Fosfogesso sobreposta sobre a superfície compactada. Quanto ao potencial de ocorrência de rachaduras, a cobertura vegetal melhora a manutenção de uma umidade adequada, impedindo o contato da camada compactada com o ar, que potencializa este fenômeno.

Finalmente os autores fizeram um estudo da evapotranspiração de diferentes coberturas vegetais mostrando que, quanto maior o aprofundamento do sistema radicular, a área foliar e o vigor das plantas, maior é a evapotranspiração. Neste caso recomenda-se a adubação em cobertura com nitrogênio que potencializa a retirada de água do perfil do Fosfogesso pela cobertura vegetal.

Na sequência destes estudos ligados ao FIRP, Fuleiham e Ingra (2005) empreenderam um estudo para verificar o comportamento hidrológico da pilha de Fosfogesso. Tiveram como alternativas três diferentes tratamentos na parte plana do alto da pilha e seis tratamentos em taludes, de forma a avaliar a quantidade e qualidade da água no escoamento superficial e na percolação sobre a superfície vegetada. Desta forma, foi possível gerar dados para uma modelagem do sistema hidrológico da pilha de gesso.

Os tratamentos realizados por Fuleiham e Ingra (2005) nas áreas de inclinação foram: (1) colocação de quinze cm (6 polegadas) de solo sobre a superfície do gesso; (2) colocação de grama em placa sobre o gesso corrigido; (3) e (4) semeadura de gramíneas sobre o gesso corrigido em duas declividades; (5) semeadura sobre uma camada de gesso corrigido de quinze cm (6 polegadas) sobre uma área compactada; e (6) semeadura de gramíneas sobre uma camada de gesso corrigida de quarenta e cinco cm (18 polegadas) sobre o gesso compactado. A gramínea utilizada para o semeio foi uma espécie do gênero bermuda. Os autores concluíram que a melhor cobertura foi a grama em placa, que permitiu também uma melhor qualidade das águas de escoamento superficial, sendo que a mesma poderia ser coletada e lançada para o corpo de água receptor sem tratamento prévio.

Ainda segundo Fuleiham e Ingra (2005), a colocação de solo sobre o gesso proporcionou também uma boa cobertura vegetal, entretanto, isso aumentou muito a susceptibilidade à erosão da camada de solo antes de se instalar a cobertura vegetal. Os tratamentos sobre o gesso corrigido, além de exigir grandes quantidades de calcário, cerca de 30 t/ha, não propiciaram uma boa cobertura vegetal. Conseqüentemente, demandaram bastante tempo para se ter um escoamento superficial com qualidade de água adequada para o lançamento no corpo receptor sem tratamento, além de exigir técnicas especiais de controle de erosão. Quanto à percolação de água, os tratamentos sobre o gesso corrigido não alcançaram o índice de permeabilidade de 10^{-6} cm/s exigidos pela USEPA. No entanto, a cobertura vegetal foi eficiente na redução da quantidade de água percolada, sendo uma alternativa interessante para as faces de talude, principalmente em áreas cujo balanço hídrico é negativo. Por outro lado, a compactação sub superficial se mostrou eficiente para o controle de água ácida ascendente por capilaridade.

Outro trabalho a ser ressaltado sobre a importância da cobertura vegetal nas pilhas de Fosfogesso é o apresentado por Morris (1998), que mostra a avaliação de um

descomissionamento da pilha da Cargill Fertilizantes no estado da Florida. O autor procedeu a colocação de uma camada de aproximadamente 20 cm de solo sobre a pilha de Fosfogesso, ao longo de todas as faces inclinadas do talude. Na parte plana superior, anteriormente destinada às lagoas de decantação, foi colocada uma geomembrana de forma a impermeabilizar toda a superfície e, posteriormente, foi colocada uma camada de aproximadamente 1 m de solo. Desta forma, toda a cobertura vegetal obtida teve como substrato o solo, e não houve caso de se plantar sobre o próprio Fosfogesso. Nas avaliações preliminares, foi constatado que as águas do escoamento superficial da pilha de Fosfogesso, apresentavam boa qualidade, podendo ser lançadas no manancial de água natural, sem a necessidade de tratamento prévio, que é uma das condicionantes do USEPA para fechamento das pilhas de Fosfogesso.

Petrisor et al (2002) também desenvolveram na Romênia um estudo visando estabelecer uma metodologia de cobertura vegetal sobre o Fosfogesso com tratamentos diversos, inclusive usando o próprio gesso como substrato. Neste trabalho, os autores concluíram que a cobertura vegetal é um processo indicado para a redução de emissão de particulados e redução do escoamento superficial de água, tornando-se importante metodologia no controle dos impactos ambientais dos estoques de Fosfogesso. Neste mesmo contexto, os autores do trabalho examinaram as atividades enzimáticas das plantas sobre o Fosfogesso e verificaram que as mesmas contribuíram de maneira significativa para a fixação de metais existentes no Fosfogesso. Na análise comparativa com a vegetação plantada em solo comum, as plantas do Fosfogesso apresentaram níveis bem maiores destes metais, sem contudo apresentarem valores que indicassem toxicidade das mesmas. Com relação aos tratamentos aplicados, compreendendo a cobertura de solo sobre a pilha de Fosfogesso, a aplicação de argila fosfática e o Fosfogesso corrigido, não foram encontradas diferenças estatísticas significantes na cobertura vegetal. Cabe ressaltar que o Fosfogesso testado já apresentava pH superior a 4,5, limite no qual Richardson (1998) já havia feito considerações, indicando ser possível a obtenção de cobertura vegetal em áreas com este pH.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação da implantação da cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso proposta neste trabalho, consistiu em verificar o processo adotado até o presente momento e analisar os diferentes dados gerados durante 7 anos de experiência da aplicação da metodologia, de forma

a verificar se a mesma seguiu uma coerência técnica adequada e se todos os fatores que foram julgados importantes corresponderam às expectativas pretendidas, permitindo a aplicabilidade desta metodologia em outras situações semelhantes.

O processo metodológico adotado será descrito desde o início (1999), em uma fase anterior ao programa de mestrado, porém fazendo parte integrante do mesmo, já que é a primeira vez que se divulga estes dados para comunidade técnico-científica. A fase inicial corresponde aos itens 4.1 a 4.5 e foram realizadas no período entre 1999 a 2005. A segunda parte correspondente aos itens 4.6 a 4.9, em que se procurou dar a validade científica ao trabalho foi realizada no período de 2005 a 2006.

4.1 Diagnóstico da pilha de Fosfoesso

O primeiro passo a se tomar em um trabalho de recuperação de áreas degradadas, é promover um amplo diagnóstico de toda área, no tocante aos fatores que estão direta ou indiretamente relacionados com os objetivos dos trabalhos de recuperação. Neste diagnóstico deverá obrigatoriamente estar descrito detalhadamente o substrato em que irá se desenvolver o trabalho, as condições edafológicas, morfologias e de estabilidade da área, bem como os principais agentes ambientais que terão influência sobre o trabalho que se pretende realizar, para a recuperação da área. A realização deste diagnóstico também é de fundamental importância para se descobrir os principais impedimentos ao crescimento de uma vegetação no local, que serão também os principais agentes causadores do processo de degradação da área.

No caso da pilha de Fosfogesso, a FOSFERTIL possui em sua unidade de Cubatão no estado de São Paulo uma outra pilha de Fosfogesso, com cobertura vegetal que se desenvolveu espontaneamente, o que foi julgado importante fazer também um diagnóstico da mesma, para que através de uma análise comparativa, auxiliasse a verificação dos impedimentos existentes na pilha de Uberaba.

O diagnóstico realizado compreendeu uma análise das condições ambientais de Cubatão e Uberaba, notadamente as questões relacionadas com a precipitação pluviométrica e o regime hídrico, com base nas estações meteorológicas existentes na empresa. Foram também feitas observações no tocante à vegetação e ao relevo, apenas com o intuito de analisar o tipo de relevo e vegetação existente nos locais vizinhos às duas pilhas.

Para análise da pilha de Fosfogesso propriamente dita, foi feito a verificação do processo construtivo das mesmas, avaliação da morfologia, verificando declividades de taludes, altura da pilha, largura de bermas e análise Fosfogesso como substrato. Nesta última avaliação foi utilizada a metodologia preconizada pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, EMBRAPA (1988), para levantamentos de solo, com abertura de trincheiras, análise do perfil e retirada de amostras do substrato para análise de fertilidade, que foram executadas conforme os padrões adotados pela Comissão de Fertilidade do Solo do estado de Minas Gerais – CFSEMG (1999).

Por último, foi diagnosticada a vegetação que ocorre espontaneamente na pilha de Fosfogesso de Cubatão, verificando não só o gênero das plantas ali ocorrentes, mas principalmente, como se dava a sucessão vegetal e seu processo de instalação.

4.2 Teste de laboratório

Durante o diagnóstico realizado, conforme pode ser visto no capítulo 5, verificou-se que um dos principais impedimentos ao crescimento da vegetação na pilha de Fosfogesso era o pH muito baixo, que não permitia a planta trocar nutrientes e absorver água do substrato. Para tanto, seria necessário verificar uma forma para se obter o aumento do pH, que o mesmo fosse compatível com o processo de manejo de plantio a ser utilizado.

Para realizar o teste de correção do pH foram retiradas diversas amostras da pilha de Fosfogesso e selecionadas aquelas mais críticas, com pH em torno de 3,0 e destas retiradas 100 g para realização do teste. Em cada amostra de 100 g, foram adicionadas diferentes quantidades de calcário dolomítico calcinado (2,0 g; 3,5 g; 4,5 g; 5,0 g) com poder real de neutralização (PRNT) igual a 100%, e diferentes quantidades de cal hidratada (0,4 g; 0,5 g; 0,8 g). Estes dois corretivos são utilizados na agricultura e já demonstraram serem eficazes para fins de correção do pH. Para tanto as misturas de corretivos e Fosfogesso foram homogeneizadas e, posteriormente, adicionada água destilada para retirada de um extrato filtrado de onde se mediu o pH..

Este teste demonstrou que seria muito grande a quantidade de calcário a ser adicionado em 1 ha da pilha, para atingir valores que possibilitassem o plantio, conforme pode ser observado no item 5.3. Desta forma, foi realizado um segundo teste, com a mistura de 100 g de Fosfogesso e uma quantidade fixa de calcário, que correspondia a 5 t/ha, onde ia se

adicionando terra (20; 40; 60; 80; 100) em medidas correspondentes a t/ha e matéria orgânica (0; 10; 20; 30; 40) correspondendo a m³/há e verificando qual misturas de Fosfogesso, calcário, terra e matéria orgânica proporcionava um pH em torno de 5,0.

Como fonte de matéria orgânica utilizou-se o bagaço de cana, uma vez que próximo à pilha de Uberaba existem duas usinas de açúcar e álcool, com disponibilidade muito grande deste material. Para o fornecimento de terra argilosa, foi usada uma área pertencente a empresa, que já vinha sendo utilizada como área de empréstimo de terra para as atividades de construção civil, que possui um Latossolo Vermelho com teores de argila acima dos 50% de sua composição granulométrica.

4.3 Teste de viveiro

Conforme pode ser visto no item 5.3, a mistura que correspondia incorporar 5 t/ha de calcário, 40 m³ de matéria orgânica e 100 t/ha de terra, foi a que melhor propiciou a correção do pH, no entanto ainda era necessário verificar se ela serviria de substrato para as plantas, bem como verificar que tipo de planta, com fenologia conhecida, poderia se instalar em tal substrato.

Desta forma, foram separadas diversas latas de óleo de cozinha com capacidade de 20 l, com as dimensões aproximadas de 0,24 m de lado do quadrado da base e 0,36 m de altura. Nestas latas foram colocados Fosfogesso e incorporados nos 20 cm superficiais, 0,58 kg de terra, 0,23 l de matéria orgânica e 0,029 kg de calcário dolomítico calcinado o que correspondia aos quantitativos da mistura que melhor corrigiu o pH no teste de laboratório.

Posteriormente foram plantadas sementes de gramíneas. Leguminosas, com fenologia bem conhecida e com disponibilidade de sementes no mercado, sendo 5 leguminosas; Mucuna Preta (*Mucuna aterrim*), Soja Perene (*Neonotonia wightii*), Crotalária (*Crotalária spectabilis*), Feijão Guandu (*Cajanus cajan*) e o Calapogônio (*Calapogônio mucunoides*) e 3 espécies de gramíneas, a Brachiaria (*Brachiaria decumbens*), a Humidícula (*Brachiaria humidícula*) e a Tanzânia (*Pancum maximum*). Em um conjunto de latas só foram plantadas gramíneas, no outro só leguminosas e no terceiro a mistura de gramíneas e leguminosas.

Nesta fase de teste não se preocupou com os quantitativos de sementes aplicadas, já que se queria saber se elas germinariam e completariam o ciclo neste substrato. Para que não houvesse muita competição de plantas foi realizado um desbaste quando as leguminosas

atingiam 4 pares de folhas definitivas, não sendo feita esta operação para as gramíneas. O teste foi acompanhado durante todo o ciclo vegetativo das plantas.

Estas latas foram colocadas no viveiro da empresa, para permitir o acompanhamento do desenvolvimento das plantas e o comportamento do substrato.

4.4 Teste experimental

Os resultados dos testes de laboratório e de viveiro, que podem ser verificados nos itens 5.3 e 5.4 permitiram corrigir os principais impedimentos ao crescimento de plantas verificados no Fosfogesso, transformando-o em um substrato que permitia o desenvolvimento das plantas em todo o seu ciclo. No entanto era necessário saber se as condições de viveiro se repetiriam em campo, bem como saber os efeitos de cada insumo aplicado.

Visando avaliar o comportamento da mistura de calcário na quantidade de 5 t/ha, terra na quantidade de 100 t/ha, matéria orgânica na quantidade de 40 m³/ha e do substrato formado, nas condições de campo, bem como do comportamento das plantas, foi montado um teste na pilha de Fosfogesso denominado de teste experimental. A fonte de terra utilizada neste experimento foi uma área de Latossolo Vermelho situada nas vizinhanças da pilha de Fosfogesso. No caso da matéria orgânica, foi utilizado o bagaço de cana, tendo em vista a empresa situar-se próximo a usinas de álcool e açúcar, com disponibilidade deste material.

Foi escolhido um dos taludes da pilha de gesso que melhor pudesse representar as condições já diagnosticadas, que mostrasse evidência de ocorrência dos principais impedimentos observados e que ao mesmo tempo apresentasse uma uniformidade para que os testes não sofressem interferência de fatores não controlados. Foi selecionado um talude na face leste do compartimento E da pilha, que possui cerca de duzentos metros de comprimento na direção horizontal e vinte metros na vertical, constituído de um Fosfogesso mais antigo, com pH em torno de 3,0, com um grande encrostamento superficial, com estrutura laminar colmatada e declividade acima de 33°.

O delineamento do teste de campo foi imaginado para uma análise estatística, sem que contudo, fosse a intenção realizá-la naquela época, já que se estudava a adaptação das plantas, sem verificar a necessidade de análise de significância desta adaptação. Foram construídos três blocos com cinco tratamentos cada, com as dimensões de 25 m na horizontal e 15 m na

vertical, que por sua vez foram divididos em cinco canteiros com 5 m na lateral e 15 m na vertical, contendo cada canteiro um tratamento, conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Tratamentos empregados em cada bloco no teste experimental

<i>Canteiros</i>	<i>Tratamentos</i>
1	Tratamento em branco sem insumos
2	Incorporação de calcário
3	Incorporação de calcário + Matéria Orgânica
4	Incorporação de calcário + terra
5	Incorporação de calcário + matéria orgânica + terra

Estes tratamentos representam a mistura utilizada no teste de viveiro, onde procurou-se verificar o efeito de cada insumo aplicado separadamente ou de forma associada.

Visando apenas verificar a adaptação das plantas em campo, os canteiros destinados aos tratamentos foram sub-divididos em três com a dimensão de 5X5 m cada onde foram plantadas: na primeira sub-divisão apenas gramínea, uma mistura de *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*), *Humidícula* (*Brachiaria humidicula*) e a *Tanzânia* (*Panicum maximum*) em uma quantidade que correspondia a 30 kg de sementes por hectare de cada espécie, totalizando 90 kg/ha; na segunda sub-divisão foi plantada apenas as leguminosas *Mucuna Preta* (*Mucuna aterrim*) 40 kg/ha, *Soja Perene* (*Neonotonia wightii*) 30 kg/ha, *Crotalária* (*Crotalaria spectabilis*) 30 kg/ha, *Feijão Guandu* (*Cajanus cajan*) 40kg/ha; na terceira sub-divisão foi plantada uma mistura de gramíneas e leguminosas nos mesmos quantitativos já mencionados. Variou-se a posição destas sub-divisões em cada um dos blocos.

Para complementação do experimento, todos os blocos receberam uma adubação de NPK 4-14-08 em um quantitativo correspondente a 200 Kg/ha por ocasião do plantio e 200 Kg de NPK 20-05-20 como cobertura após 40 dias de plantado.

Após a implantação dos canteiros, obteve-se a informação de que os resíduos das lagoas de tratamento 1 e 2 da Fosfertil conhecidos como RLT 1 e RLT 2, estavam sendo testados para fins de venda como fertilizante e corretivo, e que estavam dando bons resultados para agricultura. Foi sugerido que se fizesse um teste utilizando este produto, já que o mesmo possui poder de correção do pH, pois no tratamento das lagoas usa-se cal hidratada e calcário, além de ser fonte de macronutrientes. Para os testes na pilha de Fosfogesso foi selecionado o RLT 1 pois possui maior quantidade de sementes de vegetação de área vizinha à Fosfertil. Devido a este fato, a utilização do RLT1 apresentou dificuldade de aprovação junto ao Ministério da Agricultura como fertilizante, tendo em vista a sua contaminação por sementes, o que inviabilizaria sua comercialização, podendo ser usado sem interferir na comercialização da empresa.

Desta forma, foram construídos dois canteiros paralelos aos experimentos, para se verificar a eficiência do RLT 1, sendo um correspondente a 100 t/ha do produto misturado ao Fosfogesso e o outro canteiro com o mesmo quantitativo do RLT1 mais 40 m³/ha de matéria orgânica, não se colocando terra nem calcário nestes tratamentos.

O manejo utilizado para o plantio, consistiu de uma escarificação superficial da camada de encrostamento, realizada manualmente com enxada. Posteriormente foram adicionados os insumos de acordo com cada tratamento e incorporados também de forma manual com enxada. A seguir o plantio foi realizado com semeio a lanço, sendo que cada espécie foi semeada separadamente e posteriormente incorporadas com auxílio de rastelo manual.

O resultado medido foi o percentual de cobertura vegetal proporcionado por cada tratamento, tanto no primeiro ano de plantio, quanto no ano seguinte, correspondendo à rebrota da vegetação. Para tanto se utilizou de um quadrado de 20 cm de lado, correspondendo a 400 cm², que foi lançado aleatoriamente sobre diversos pontos da vegetação, e verificado o percentual de área de falha delimitado pelo quadrado. O resultado médio obtido dos vários lançamentos foi subtraído de 100%, permitindo ter-se o percentual de cobertura vegetal de cada canteiro.

Além da cobertura vegetal, foi analisado o vigor vegetativo de vegetação, que se baseou nas características citadas a seguir.

- Estado nutricional das plantas - plantas que apresentavam sintomas claros de deficiência nutricional ou com aparência de bom estado nutricional, ou seja, cor verde escura, sem distinções claras das nervuras e sem enrolamento ou necrose de folhas.
- Desenvolvimento das plantas – as plantas que apresentavam altura de acordo com as suas descrições fenológicas, e não apresentavam acamamentos ou pouco desenvolvimento foliar, e estado de perfilhamento para gramíneas e ausência de tortuosidade para as leguminosas.

O vigor vegetativo é considerado bom, quando a planta não apresentava comprometimento evidente no seu estado nutricional, nem quanto ao seu desenvolvimento. Para o vigor vegetativo médio, a planta apresentava comprometimento em uma das características avaliadas, e fraco, quando o seu estado nutricional e seu desenvolvimento apresentaram comprometidos.

4.5 – Teste agronômico

No ano de 2000, foi dado o início ao teste agronômico, com a intenção de verificar como seria o comportamento da cobertura vegetal em uma área maior, sem as condições de controle dos blocos experimentais. Além deste objetivo foi importante verificar se as recomendações adotadas no teste experimental seriam aplicáveis e quais seriam as dificuldades no tocante a logística de preparação, transporte e distribuição do material. Finalmente, poderia analisar o custo real de mão de obra e equipamentos para uma área maior e a forma de estabelecer um orçamento da cobertura vegetal para uma determinada unidade de área.

Para tanto foi selecionada uma área de 10.000 m² correspondendo a um hectare (ha), no talude acima do utilizado no teste experimental, com 25 m de extensão na direção vertical e 400 metros de extensão na horizontal, com uma declividade em ângulo de 35° aproximadamente. Esta condição refletia ainda, grande parte das características da área dos blocos experimentais e estando próximo ao teste anterior permitia um acompanhamento mais detalhado dos dois testes ao longo do tempo.

Como o tratamento utilizando a mistura de terra, matéria orgânica e calcário dolomítico mostrou-se o mais promissor, bem como o tratamento com RLT1 mais matéria orgânica apresentou resultado semelhante, conforme pode ser visto no capítulo 5, optou-se por

adicionar o RLT 1 na mistura completa correspondendo ao tratamento 5 da Tabela 4.1. A disponibilidade deste resíduo na empresa é abundante, não implicando em maiores custos à cobertura vegetal como um todo, melhorando ainda mais as condições para a correção do Fosfogesso, por aumentar a CTC já que o mesmo é rico em colóides. Esta mistura de terra (100 t), RLT (100 t), Bagaço de cana (40 m³), calcário dolomítico calcinado (5 t) e de NPK 4-14-8 (200Kg) foi realizada na área de empréstimo de terra e conduzida para a pilha por caminhões. O processo de elaboração da mistura pode ser verificado na Figura 4.1.



Figura 4.1 - Realização da mistura terra, calcário, RLT 1 e matéria orgânica

A escarificação de toda superfície de 1 ha. foi feita manualmente com auxílio de enxada, demonstrada na Figura 4.2. Terminada a escarificação, foi realizada a distribuição da mistura sobre toda a superfície, sendo lançado na área do teste com a utilização de uma pá carregadeira e distribuída uniformemente com enxada sobre toda superfície de forma a não promover excesso de mistura em uma área, e falta de mistura em outra, conforme Figura 4.3.



Figura 4.2 - Escarificação

Após o término dos trabalhos de escarificação e distribuição da mistura, foi feita a sua incorporação no Fosfogesso, em uma profundidade de até 20 cm, da forma mais homogênea possível, para que toda a camada superficial da área pudesse ser corrigida. Esta incorporação foi feita manualmente com auxílio de enxada.

Concluída a incorporação, foi feito o plantio de gramíneas e leguminosas, tendo sido utilizado: 40 kg de Mucuna Preta, 40 Kg de Feijão Guandu, 30 Kg de crotalária e 30 Kg de Calapogônio como as espécies de leguminosa; 30 Kg de Brachiaria decumbens e 30 Kg de Tanzânia (capim colonião) como gramíneas. As sementes foram plantadas a lanço separadamente, como pode ser visto na Figura 4.4, garantindo uma distribuição uniforme das mesmas. Posteriormente, elas foram incorporadas manualmente com auxílio de um rastelo.



Figura 4.3 - Distribuição da mistura



Figura 4.4 - Plantio manual feito a lanço

Finalmente, durante o teste agrônômico, visando verificar o efeito da irrigação no impedimento ao recrudescimento das plantas na época da seca, foi realizada a irrigação de metade da área, com o auxílio de um caminhão pipa. Esta operação iniciou-se no mês de Abril de 2001 se estendendo até o mês de Novembro do mesmo ano, quando reiniciou a chuva, permitindo fazer um comparativo entre a área irrigada, com a não irrigada.

4.6 – Análise estatística

A proposta de avaliação da metodologia de implantação da cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso inicia-se com a análise estatística dos resultados obtidos no teste experimental, uma vez que na época não houve preocupação para tal fato, já que se pretendia apenas adotar o tratamento que se mostrou melhor, independente de uma análise pormenorizada deste resultado.

Para tanto, foram resgatados dos relatórios todos os resultados inerentes às medições de cobertura vegetal realizadas no ano de plantio do teste experimental e no ano seguinte com a rebrota da vegetação após o período de recrudescimento da vegetação proporcionado pelo período de seca que se inicia em Abril e dura até o mês de Outubro.

Os resultados encontrados foram somados e divididos por 2 de forma a se obter a média de cobertura vegetal geral dos tratamentos, que por sua vez foram avaliados, com duas análises de variância aplicadas nos experimentos de blocos casualizados. Foi aplicado o teste de Fisher para verificar se havia diferenças entre os resultados dos blocos e dos tratamentos, e posteriormente, aplicado o teste de Tukey para a análise das diferenças entre os resultados dos tratamentos, conforme descrito por Gomes (1987).

4.7 – Avaliação da vegetação

A cobertura vegetal foi considerada em todas as etapas do trabalho como o principal indicador dos resultados obtidos, sendo também o objetivo final do processo metodológico. A simples obtenção desta cobertura já seria considerada um bom resultado, porém foi avaliado também o comportamento desta cobertura ao longo dos anos de plantio.

Por ocasião do diagnóstico realizado na pilha de Fosfogesso de Cubatão, que apresentava uma vegetação espontânea, verificou-se que o processo de instalação da cobertura vegetal sobre a

pilha seguia o padrão de uma sucessão vegetal normal. Refletia as condições de intemperismo do substrato, ou seja, em primeiro lugar a área era ocupada por líquens e pteridófitas, para posteriormente se instalar as herbáceas, representadas principalmente pelas gramíneas, e finalmente instalar as demais formas de vegetação. No caso do presente trabalho, as herbáceas, representadas pelas gramíneas e leguminosas, foram as primeiras formas de vegetação introduzidas, daí a necessidade de conhecer o comportamento das mesmas.

A partir de 2005, foram feitos levantamentos da cobertura vegetal em todos os plantios realizados desde o ano de 2002, verificando dentre as espécies presentes quais delas representavam as plantas introduzidas pelo plantio e quais eram as espécies invasoras. Foi investigado como estava o processo sucessional e o vigor vegetativo das plantas.

As principais informações que se pretendia obter nesta análise, além das espécies que predominavam no plantio de cada ano, seria o vigor vegetativo das plantas, baseado no crescimento e no estado nutricional das mesmas.

Para tanto, no ano de 2005, foi realizado um caminharmento nos plantios do ano de 2002, de 2003 e de 2004 verificando a cobertura vegetal proporcionada pelos mesmos, a altura das plantas, o estado nutricional e as principais espécies que ocorriam nos plantios, verificando as principais alterações de espécies com o passar dos anos. No ano de 2006 este procedimento foi repetido, acrescentando o plantio de 2005 nesta análise.

4.8 – Avaliação do substrato

Para análise do substrato foi necessário verificar como ocorreu a mudança do Fosfogesso ao longo dos anos de plantio, e se esta mudança indicava uma condição mais perene que permitisse a sustentação da vegetação ao longo do tempo, ou se seria conveniente uma intervenção nos plantios já realizados, procurando melhorar o substrato para garantia da sustentabilidade dos mesmos.

Durante estes dois anos de avaliação foram realizadas duas campanhas de investigação do Fosfogesso como substrato, de forma a analisar as mudanças edafológicas ocorridas no mesmo. O processo utilizado nesta investigação foi semelhante aos usados em levantamentos de solo, com a abertura de trincheiras com profundidades superiores a das camadas de Fosfogesso alteradas, chegando a adentrar pelo menos 15 cm no Fosfogesso natural, sendo

retiradas amostras do substrato para análise laboratorial. Para investigação das trincheiras e análises dos perfis do substrato foi adotada a metodologia preconizada pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo SNLCS, EMBRAPA (1988).

Para análise do perfil do substrato foi feita a separação das camadas (horizontes) de Fosfogesso alteradas e medida as suas profundidade. Foi verificado o grau estruturação, a quantidade de raízes e a porosidade. Posteriormente foram retiradas amostras para análise laboratorial. Estas análises foram realizadas em laboratórios particulares da região de Uberaba, obedecendo a metodologia preconizada pela CFSEMG (1999).

4.9 Avaliação das áreas de falha de plantio

Nos primeiros anos de plantio surgiu uma incógnita em relação às falhas ocorridas na vegetação, que eram atribuídas a erro na distribuição ou incorporação da mistura. Entretanto, ao longo do tempo de observação, verificou-se que este não era o problema principal, pois em áreas que comprovadamente foram adotados os procedimentos corretos, ainda assim, ocorreram estas falhas.

Para o levantamento das falhas foi percorrido todos os plantios, verificado cada mancha de ausência da vegetação, neste caso denominada de falha, medido a área da mesma e analisado a principal causa desta falha. Estes dados foram compilados e comparados com a área de plantio, para verificar o percentual de área de falhas em cada plantio.

5 RESULTADOS

5.1 – *Diagnóstico*

Os diagnósticos realizados nas pilhas de Fosfogesso de Uberaba e Cubatão, permitiram fazer um comparativo entre elas, tendo sido importantes para conhecer os principais impeditivos de crescimento da vegetação na pilha de Fosfogesso de Uberaba. Serviram também para explicar a ocorrência da vegetação espontânea na pilha de Cubatão, permitindo lançar as primeiras bases teóricas para obtenção de uma vegetação induzida nas pilhas de Fosfogesso.

A primeira constatação foi verificar as condições ambientais onde se inserem as pilhas de Cubatão e Uberaba, principalmente no tocante as condições climáticas. Cubatão está inserida na baixada Santista, ao sopé da serra do Mar, com uma pluviosidade média anual em torno de 2500 mm bem distribuída ao longo de todo ano, com períodos de secas bem curtos, e umidade relativa acima dos 60% durante todo ano. Uberaba possui uma pluviosidade média em torno de 1500 mm, com um período seco marcante de seis meses de duração, apresentando nesta época seca, umidade relativa abaixo dos 50%. A condição ambiental de Cubatão ainda se diferencia na vegetação circunvizinha, que é no caso da serra do Mar, onde existem grandes remanescentes de mata Atlântica com grande disponibilidade de material propagativo veiculado por ventos, ao passo que a pilha de Uberaba encontra-se em áreas vizinhas a pastagens, com baixa diversidade de plantas.

Outra característica a se considerar é o processo construtivo das duas pilhas de Fosfogesso. Na pilha de Cubatão, após a filtragem do Fosfogesso, o mesmo é encaminhado para uma lagoa de decantação onde sofre uma secagem, e posteriormente é levado para a pilha com menor quantidade de água, sendo sua disposição feita em aterro controlado. Em Uberaba o Fosfogesso é enviado para a pilha em forma de pasta, com 75% de água e 25% de Fosfogesso, onde em cima da pilha, em lagoas, ele é decantado, sendo o alteamento da pilha feito com construção de diques, com sistema de alteamento a montante. A separação de Fosfogesso e água é feita de forma gravitacional, sendo excesso de água conduzido para fora da pilha via canais, ficando o gesso decantado no fundo destas lagoas. Este processo faz com que o gesso de Uberaba seja colmatado, com baixa porosidade, formando estruturas laminares, ao passo que o gesso de Cubatão tende a se estruturar em blocos permitindo a ocorrência de macro e micro poros. Esta condição permite uma permeabilidade da pilha de Cubatão bem maior que a da pilha de Uberaba, bem como uma boa condição de aeração na região de desenvolvimento

do sistema radicular. Na análise das trincheiras verificou-se também que na pilha de Cubatão, ocorria bem menos encrostamento superficial do que na pilha de Uberaba, fator este que pode ser atribuído tanto ao processo construtivo, quanto às condições climáticas, já que Cubatão não apresenta um período seco marcante e a sua umidade relativa não é tão baixa quanto a existente em Uberaba.

Os resultados das análises de fertilidade das amostras de Fosfogesso retiradas em Cubatão e em Uberaba podem ser observados na Tabela 5.1. Em Cubatão foram retiradas amostras compostas de uma área da pilha que apresentava cobertura vegetal e outra onde não tinha esta cobertura. Já em Uberaba onde não há presença de vegetação, foram retiradas amostras de duas áreas distintas, sendo uma com o Fosfogesso mais recente, nos compartimentos A e B da pilha, e outra com Fosfogesso mais antigo, nos compartimentos E e C.

Tabela 5.1 – Resultados de análise do Fosfogesso de Cubatão e Uberaba

<i>Amostra</i>	<i>pH</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>H+Al</i>	<i>S</i>
	H ₂ O	mg/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	%
Cubatão/CV	5,2	600,0	1,2	1035,0	1,2	6,3	46,3	>13
Cubatão/SV	4,5	700,0	1,0	980,0	1,0	7,3	77,3	>13
Uberaba/SV	2,8	540,0	0,8	1290,0	1,0	2,1	28,1	>13
Uberaba/SV	3,2	720,0	0,7	1145,0	5,0	0,0	25,0	>13

CV – Com vegetação, SV – Sem vegetação

Deve-se salientar que a rocha de Apatita mais utilizada em Cubatão é proveniente do Complexo Mineraloquímico de Catalão no estado de Goiás, ao passo que a rocha usada em Uberaba e predominantemente provinda do Complexo Mineraloquímico de Tapira no estado de Minas Gerais. Apesar deste fato não foi detectada grandes diferenças na composição química do Fosfogesso.

No tocante aos macro-nutrientes analisados, os resultados das amostras das duas pilhas são semelhantes, independentemente do Fosfogesso estar sob vegetação ou não, bem como ser de deposição mais antiga ou recente. Os teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e enxofre (S) são muito elevados, apresentando baixos teores para o magnésio (Mg) e o potássio (K). A diferença maior verificada nas amostras foi em relação ao alumínio (Al), que apresentou teores mais elevados em Cubatão, e baixos teores ou ausente em Uberaba, o mesmo

ocorrendo com a acidez potencial (H+Al), sendo muito elevada em Cubatão e mais baixa em Uberaba, porém ambos elevados em relação ao solo.

O fato que mais chamou a atenção nas amostras das duas pilhas foi em relação ao pH, pois o mesmo encontrava-se entre 4,5 e 5,2 na pilha de Cubatão, e sempre inferior a 3,2 na pilha de Uberaba. Isto pode ser uma das maiores explicações para a vegetação espontânea presente na pilha de Cubatão e ausente na pilha de Uberaba. Ao verificar o valor do pH na área de vegetação da pilha de Cubatão, o mesmo apresentou cerca de 5,2, muito próximo ao pH ideal de um solo, que é entre 5,5 e 6,5 Brady (1989), indicando que o pH pode ser um dos maiores impeditivos a formação de vegetação na pilha de Uberaba.

Na Tabela 5.2 são mostradas as diversas características analisadas na duas pilhas durante a fase do diagnóstico, e as diferenças verificadas entre eles, que por sua vez podem determinar a possibilidade de uma pilha apresentar a cobertura vegetal e a outra não.

Tabela 5.2 - Comparativo das características analisadas nas pilhas de Fosfogesso de Cubatão e Uberaba

<i>Características</i>	<i>Cubatão</i>	<i>Uberaba</i>
Processo Construtivo	Via Seca	Via Úmida
Encrostamento Superficial	Pouco Presente	Muito Presente
Porosidade	Presente	Ausente
Estruturas	Granular	Laminar
Umidade	10%	25%
pH	4,8	3,0

Durante a fase do diagnóstico foi realizado um levantamento da vegetação espontânea que ocorria na pilha de Fosfogesso de Cubatão, procurando verificar principalmente, quais os gêneros das plantas existentes e como foi o processo sucessional desta vegetação. Verificou-se que a maioria da vegetação ali presente são as plantas herbáceas, representadas principalmente pelas gramíneas e leguminosas. Quanto ao processo de sucessão de plantas, verificou-se que ele é muito semelhante à sucessão vegetal que ocorre de acordo com o intemperismo na formação dos solos, ou seja, em primeiro lugar a área foi ocupada pelas pteridófitas (Samambáias) e posteriormente ocorrem a ocupação pelas herbáceas, em uma seqüência de gramíneas, leguminosas e curcubitáceas.

Ao analisar o perfil do Fosfogesso na área de cobertura vegetal de Cubatão, verificou-se que existe um manto orgânico formando um horizonte superficial semelhante ao horizonte A dos solos e onde está concentrada a maioria das raízes da vegetação. Constatou-se que este manto tem uma profundidade que varia de 10 a 20 cm de espessura, e quanto mais evoluída for a vegetação, maior a sua profundidade.

Verificou-se que este horizonte orgânico tem sido a base de sustentação da vegetação ao longo do tempo, pois logo abaixo dele existe uma camada de transição com poucas raízes, de profundidade em torno de 10 cm. Abaixo desta camada de transição ocorre o Fosfogesso em sua condição natural, sem indicar nenhuma atividade orgânica, mostrando não haver mais possibilidade de desenvolvimento radicular.

Com relação à ocorrência de vegetação na pilha de Uberaba, existe em alguns pontos, de forma isolada e pontual, pequenas moitas de pteridófitas e algumas moitas de capim, que se desenvolveram acima da camada de encrostamento, porém não se verificou qualquer interação desta vegetação com o Fosfogesso. Observou-se que esta vegetação não se mantém perene, vindo sempre a perecer após o seu ciclo vegetativo, com a entrada da estação seca, indicando não haver nenhuma condição de sua auto-sustentação.

5.2 – Identificação dos impedimentos para cobertura vegetal

A análise comparativa dos diagnósticos realizados nas pilhas de Fosfogesso de Uberaba e Cubatão permitiu tirar algumas conclusões que foram importantes como base da continuidade dos trabalhos. Foram identificados os principais fatores de natureza química e física que impedem a pilha de Uberaba de ter condições de sustentação de uma população de plantas que permita a sua cobertura vegetal, dentre os quais pode-se destacar os impedimentos físicos que são o encrostamento superficial, a ausência de porosidade e a presença de água no perfil da camada superficial, o que serão detalhados a seguir:

- Encrostamento superficial

O processo de cristalização do Fosfogesso, segundo Smith (2006), está relacionado com as condições térmicas do processo de ataque sulfúrico na separação do ácido fosfórico e do Fosfogesso, bem como às condições de desidratação do gesso após este processo, principalmente já na pilha. Desta forma, verifica-se na pilha de Fosfogesso uma camada dura,

em torno de 5 mm de espessura, sobre a superfície da mesma. Esta camada impede a penetração de água, bem como garante uma grande rigidez a pilha. Isto torna impossível a presença de plantas sobre esta camada, uma vez que a mesma impede o crescimento radicular, não permitindo o armazenamento de nutrientes e água para as plantas.

- Ausência de Porosidade

Como já citado anteriormente, o processo construtivo da pilha de Uberaba é realizado por bombeamento da pasta de Fosfogesso para lagoas de decantação, onde ocorre a separação do Fosfogesso, que decanta no fundo da lagoa, e da água que é direcionada para os canais de drenagem e levada para o sistema de tratamento. Este processo faz com que o Fosfogesso decantado fique colmatado, havendo uma estruturação laminar, reduzindo muito a porosidade existente na massa de Fosfogesso, chegando a haver inexistência de macro-poros. Brady (1989) mostra a importância de uma boa relação de macro e micro poros, sendo normal que a porosidade seja de 40% a 60% do volume do solo, para que possa haver circulação de ar e água no perfil do horizonte, desenvolvimento radicular, aeração das raízes e o armazenamento de água.

- Presença de água no perfil da camada superficial

Devido à presença de lagoas de decantação no topo da pilha de Fosfogesso, em muitos locais dos taludes ocorre a presença de um lençol de água bem superficial, existindo ainda uma ascensão de água ácida por capilaridade, o que impede a oxigenação das raízes, bem como o seu desenvolvimento, além de acidificar a camada superficial do gesso de forma contínua, impedindo que um aumento de pH pudesse ocorrer devido a lixiviação.

Os impedimentos de natureza química verificados foram o pH e o desequilíbrio nutricional, que serão detalhados a seguir:

- pH

O pH do Fosfogesso da pilha de Uberaba é em torno de 3,0. Conforme a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais CFSEMG (1999), são considerados muito ácidos os meios com pH abaixo de 4,5, e conseqüentemente com elevada acidez potencial que impede o crescimento de plantas. Richardson (1995) verificou que pH menor que 4,5 no

Fosfogesso inviabiliza o processo de implantação de cobertura vegetal. Brady (1989), mostra que pH muito baixo, reduz e até inviabiliza o processo de troca catiônica entre o solo e a planta. Portanto, o pH é um dos principais impedimentos para o estabelecimento de cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso de Uberaba, pois o mesmo encontra-se muito abaixo do limite recomendado para solos, proporcionando uma acidez muito elevada.

- Desequilíbrio Nutricional

Conforme pode ser verificado na Tabela 5.1, o Fosfogesso apresenta um grande desequilíbrio nutricional, com teores elevados de fósforo, cálcio e enxofre, e baixos teores de potássio e magnésio. Liebig citado por Delvin (1976), demonstrou a teoria do mínimo, em que os macronutrientes faltantes ou reduzidos, seriam os limitantes do crescimento de plantas. O desequilíbrio nutricional do Fosfogesso fica evidente por apresentar altos teores de alguns importantes macro-nutrientes e baixos teores, ou até ausência, de outros nutrientes, o que não é desejável, pois impede o bom desenvolvimento das plantas. Nesse caso, os baixos teores de magnésio e potássio estão sendo os limitantes. Richardson (1997) já demonstrava este problema em sua pesquisa, indicando a necessidade de adubações com estes elementos.

Na análise de fertilidade realizada durante o diagnóstico não consta o nitrogênio, outro macronutriente de suma importância para todo tipo de planta. A análise do nitrogênio é muito complicada, tendo em vista que os processos analíticos de detecção deste elemento não exprimem sua real condição de disponibilidade para as plantas. Porém é visível na vegetação quando as plantas apresentam sintomas de deficiência de nitrogênio, com o amarelecimento das folhas. Tanto a rocha utilizada na fabricação do ácido fosfórico, quanto o processo de fabricação do mesmo, não possuem este elemento, o que indica a sua falta no Fosfogesso. Portanto a deficiência deste elemento é mais um fator limitante para o crescimento das plantas.

Constatada a presença de todos estes impedimentos de natureza química e física para a obtenção de uma cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso, obrigatoriamente foi necessário estabelecer sistemas de correção e controle dos mesmos. O desenvolvimento de metodologia para esta correção e o controle dos impedimentos remeteram o trabalho a necessidade de elaborar as etapas posteriores.

5.3 Teste de laboratório

Baseado nos resultados do diagnóstico, e tendo conhecimento dos principais impedimentos para se obter uma cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso, foram analisadas as diversas formas para se corrigir estes impedimentos, garantindo que pelo menos 20 cm da camada superficial da pilha de Fosfogesso estivesse corrigida, por ser onde se concentra a maioria das raízes. Na pilha de Cubatão verificou-se que nos locais onde a vegetação se apresentava abundante, o horizonte diferenciado tinha como média uma profundidade efetiva de 15 cm. Desta forma, se fosse possível intervir nos 20 cm superficiais da pilha de Uberaba, corrigindo os impedimentos ali existentes, seria o indicativo para a obtenção de uma cobertura vegetal eficiente.

O primeiro impedimento que se procurou corrigir foi o pH, por ser um fator extremamente limitante e, como já descrito, por existirem poucas plantas capazes de suportar valores de pH inferiores a 4,5. Como o pH médio do Fosfogesso de Uberaba está em torno de 3,0, qualquer tentativa de implantação de cobertura vegetal nestas condições seria frustrada.

Os resultados do teste realizado conforme os procedimentos descritos no capítulo 4, podem ser vistos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Resultados do teste de correção de pH com calcário e cal hidratado

<i>Quantidade de Calcário</i> <i>(Misturado em 100g de Fosfogesso)</i>	<i>pH</i>	<i>Quantidade de Cal hidratado</i> <i>(Misturado em 100g de Fosfogesso)</i>	<i>pH</i>
0 grama	3,0	0 grama	3,0
2,0 gramas	3,9	0,40 grama	5,8
3,5 gramas	4,4	0,50 grama	6,2
4,5 gramas	5,4	0,80 grama	6,5
5,0 gramas	6,2		

Com estes resultados, verificou-se que para uma correção efetiva da faixa dos 20 cm superficial do gesso seria necessário cerca de 50 t de calcário por hectare, o que inviabilizaria a sua utilização. Notou-se que esta grande quantidade de calcário era necessária, tendo em vista que o ambiente da pilha era extremamente ácido e que a grande quantidade de cátions

encontrada na análise de fertilidade estava muito mais relacionada com a composição do Fosfogesso do que a sua relação de troca.

Brady (1989) mostra que a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo está muito mais relacionada com a quantidade de colóides existentes no meio do que com a composição químico-mineralógica do solo.

Desta forma, para melhoria do pH do Fosfogesso, sem usar de grandes aplicações de calcário, seria necessário uma intervenção, no sentido de adicionar colóides na massa de Fosfogesso, propiciando ao substrato uma nova condição. Isto permite aumento da CTC e a ocorrência do efeito tampão, inerente ao solo. Assim sendo, as condições químicas do ambiente estariam mais relacionadas à CTC do que à solução do Fosfogesso.

O Fosfogesso possui uma granulometria bem próxima ao silte, portanto, com baixa CTC. Epstein (1975) mostra que os materiais mais ricos em colóides são a matéria orgânica e a argila. Desta forma optou-se pela realização de novos testes de correção do pH, utilizando o Fosfogesso misturado à terra e matéria orgânica, cujos resultados podem ser observados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados dos testes de correção de pH com a mistura de terra e matéria orgânica

<i>Mistura</i>	<i>Calcário t/há</i>	<i>M. Orgânica m³/há</i>	<i>Terra t/ha</i>	<i>pH</i>
Mistura 1	5	-	20	3,8
Mistura 2	5	10	40	4,1
Mistura 3	5	20	60	4,3
Mistura 4	5	30	80	4,7
Mistura 5	5	40	100	5,1

5.4 – Teste de viveiro

Este teste teve como objetivo verificar a adaptação da mistura que se mostrou mais promissora nos testes de laboratório, para servir como substrato. Ele foi acompanhado em toda sua fase, desde a germinação até o recrudescimento das plantas ao final do período vegetativo, visando única e exclusivamente verificar a adaptação das plantas ao substrato, bem como verificar o comportamento do substrato. Todas as espécies de gramíneas e

leguminosas mostraram boa adaptação, com germinação compatível ao que estava descrito nas análises realizadas pelo produtor das sementes. Tiveram o crescimento normal da planta, número de folhas semelhantes aos descritos para estas plantas, produção de material propagativo e duração do ciclo comparável às plantas normalmente plantadas em solo, conforme pode ser observado na Figura 5.1. Destaca-se que foi necessário fazer uma adubação com nitrogênio, uma vez que as leguminosas não apresentaram nenhuma nodulação, não tendo sido previsto a inoculação de *Rhizobium*.



Figura 5.1 - Teste realizado em latas de 20 litros para verificar a correção do gesso e adaptação de plantas

Durante o teste não foi verificado nenhum sinal de encrustamento superficial do Fosfogesso, fato este que foi atribuído à manutenção deste substrato sempre úmido, à presença de matéria orgânica e à cobertura vegetal. Verificou-se também a formação de estruturas em blocos no Fosfogesso, principalmente na área de maior desenvolvimento radicular, fato este também atribuído à matéria orgânica e ao sistema radicular das plantas. De uma forma geral, este teste além de indicar as espécies de plantas adaptáveis à cobertura vegetal, mostrou que a mistura proposta contribuía para corrigir os demais impedimentos existentes na pilha de Fosfogesso de Uberaba.

Os resultados deste teste precisavam ser comprovados nas condições de campo, pois nas latas as condições eram bem controladas, não refletindo o ambiente de campo, que possuía outros fatores que agravavam os impedimentos, tais como, ascensão de água ácida por capilaridade, insolação direta, efeito de vento e veranicos com dias sem reposição de água. Desta forma mantinha-se a incógnita sobre a sobrevivência das plantas nestas condições. Restava saber ainda, se seria possível suprimir algum dos insumos utilizados na mistura e conseguir a cobertura vegetal desejada, se algum deles seria determinante para a obtenção das plantas e se seria possível reduzir a utilização de algum destes insumos, visando a economia do processo.

5.5 – Teste experimental

De acordo com os procedimentos metodológicos descritos no capítulo 4, em Outubro de 1999 foram iniciados os trabalhos de preparação dos canteiros e plantio das gramíneas e leguminosas. A partir de Novembro do mesmo ano iniciou-se o processo de germinação, como pode ser verificado na Figura 5.2, e o acompanhamento deste teste visando analisar o comportamento da vegetação em cada um dos tratamentos adotados. A primeira observação foi relativa à germinação das sementes, que apresentaram diferenças em cada um dos tratamentos da seguinte forma: (1) no tratamento em branco com apenas o Fosfogesso houve pouca germinação, tendo em vista que o número de sementes por unidade de área era muito grande, e houve o surgimento de plantas espaçadas, que apresentaram crescimento com baixo vigor vegetativo, no entanto chegou a proporcionar uma cobertura vegetal com cerca de 50% da área plantada; (2) nos tratamentos de Fosfogesso mais calcário, e Fosfogesso mais calcário e matéria orgânica, a germinação foi bem melhor com um número grande de plantas por metro quadrado, proporcionando cobertura vegetal em torno de 80% da área plantada; (3) nos tratamentos onde foi adicionado terra e calcário, a cobertura vegetal neste primeiro ano foi próxima a 100% da área plantada; (4) no tratamento em que se utilizou todos os insumos (Fosfogesso + calcário + terra + Matéria Orgânica), o vigor vegetativo foi bem melhor que os demais e a cobertura vegetal no primeiro ano foi de 100%. Paralelamente foram observados os tratamentos que utilizaram RLT 1. Neste caso, o canteiro onde se fez a mistura deste produto com matéria orgânica apresentava um comportamento semelhante ao canteiro da mistura completa.



Figura 5.2 - Bloco com cinco canteiros correspondendo a 5 tratamentos no início da germinação

O vigor vegetativo e a cobertura vegetal apresentaram seu auge a partir do mês de Fevereiro do ano de 2000. Neste mês já se verificava o início do processo reprodutivo das plantas, indicando que estas completariam seu ciclo, inclusive com condição de produção de material propagativo. Verificava-se também a perda do vigor vegetativo do tratamento em branco, bem como da mistura gesso mais calcário. Em Agosto de 2000, as plantas tinham completado seu ciclo vegetativo, mostrando que a produção de material propagativo foi a contento, tendo a vegetação iniciado um processo de recrudescimento com a secagem completa da vegetação.

Terminado o ciclo vegetativo das plantas, a grande expectativa era saber se haveria rebrota no início do período chuvoso, pois se não houvesse não se alcançaria o objetivo final, que era a obtenção de uma cobertura vegetal permanente. Caso não houvesse a rebrota, seria necessário refazer o plantio anualmente, o que inviabilizaria os procedimentos adotados.

A partir do mês de Outubro de 2000, foi observado o início da rebrota da vegetação nos canteiros experimentais, verificando que: (1) no primeiro tratamento (Tabela 4.1), a rebrota foi muito pequena, com pouca cobertura vegetal, com sinais inclusive de encrostamento superficial; (2) no segundo e terceiro tratamentos houve uma rebrota parcial com menos de 30% da área em média, porém o encrostamento não era tão evidente; (3) no quarto tratamento

a vegetação retornou quase que semelhante à vegetação do primeiro ano de plantio, com cobertura vegetal acima de 70%; (4) no quinto tratamento a rebrota ocupou mais de 90% da área plantada, com excelente vigor vegetativo.

No primeiro ano, as áreas onde foram plantadas gramíneas não foram tão promissoras, porém, demonstraram na rebrota uma cobertura muito boa nos dois últimos tratamentos. Isto pode ser atribuída a uma dormência das sementes de gramíneas utilizadas. Neste mesmo contexto, junto com a rebrota da vegetação, verificou-se o surgimento de plantas invasoras, notadamente do capim Napiê (*Pennisetum purpureum Schumacher*), muito comum nas pastagens circunvizinhas à pilha de Fosfogesso da Fosfertil.

O canteiro de RLT 1 e matéria orgânica teve o mesmo comportamento do canteiro com o tratamento que utilizou a mistura completa. Já o canteiro de RLT1 que não utilizou matéria orgânica, apresentava o mesmo comportamento do tratamento com terra e calcário, sem matéria orgânica.

Os testes indicaram que os tratamentos que utilizaram a mistura completa, e com o RLT 1 mais matéria orgânica, permitiram obter boa cobertura vegetal, ou seja, as plantas apresentaram bom vigor vegetativo ao longo de todo seu ciclo, tiveram produção adequada de material propagativo, bem como apresentaram rebrota adequada após o recrudescimento durante o período seco. Mostraram ser uma boa alternativa de correção do Fosfogesso para obtenção de uma cobertura vegetal sobre o mesmo.

5.6 – Teste agrônômico

O teste agrônômico foi realizado para se verificar como seria o comportamento da cobertura vegetal plantada em uma grande área e permitir avaliar as recomendações advindas dos testes anteriores, verificando ainda as questões de gasto com mão de obra, equipamentos e insumos, além de avaliar os aspectos relacionados à logística de plantio, transporte e manejo em grandes áreas.

Terminado os procedimentos metodológicos descritos no item 4.5, foram avaliados os gastos relativos à mão de obra, equipamentos e veículos, que estão apresentados na Tabela 5.5. O plantio foi encerrado no final do mês de Novembro de 2000. Com apenas vinte dias já se verificava o germinação de várias espécies plantadas, iniciando-se pelas leguminosas. Com

quarenta dias decorridos do encerramento do plantio a área destinada ao teste já se apresentava toda coberta com vegetação, exceção de algumas partes que apresentavam falhas, localizadas principalmente no terço inferior do talude, próximo ao canal de pé.

Tabela 5.5 – Demanda total de mão de obra e equipamentos para 1 ha de cobertura vegetal

<i>Fase</i>	<i>Mão de obra Dias/homens</i>	<i>Equipamento Hora maquina</i>	<i>Viagem de caminhões</i>
Escarificação	30		
Mistura	10	30	50 (300 Km)
Incorporação	50		
Plantio	20		
Adubação	5		
Total	115	30	50

Nesta oportunidade foi realizada uma adubação de cobertura, com o adubo NPK 20-05-20, em uma quantidade de 200 kg, visando suprir a vegetação principalmente com nitrogênio e Potássio. Nesta operação houve uma demanda de mais 5 dias/homen, encerrando-se os gastos relativos ao teste.

A partir do mês de Maio de 2001 a vegetação atingiu o seu ápice e as falhas estavam evidentes, como pode ser observado na Figura 5.3. Com o intuito de verificar a possibilidade de não haver o recrudescimento da vegetação, foi testada a utilização de irrigação. Desta forma, a área de 10.0000 m² foi dividida em duas, sendo que uma das metades foi irrigada com caminhão pipa diariamente, o que demandou o aluguel deste equipamento por seis meses, e a outra metade ficou sem irrigar. A partir do mês de Julho iniciou o processo de recrudescimento na área não irrigada, ao passo que a área irrigada se manteve verde durante todo o período seco. No entanto, com a chegada das chuvas em Novembro de 2001 a área não irrigada iniciou o processo de rebrota. No mês de Dezembro de 2001 já não se verificava diferença entra a área irrigada e a não irrigada, o que levou a descartar a utilização de irrigação, que encareceria o processo de cobertura vegetal, sem grandes ganhos para os resultados pretendidos.



Figura 5.3 - Teste agrônômico

Com os resultados do teste agrônômico observou-se que a metodologia empregada para a obtenção de cobertura vegetal na pilha de Uberaba, utilizando o próprio Fosfogesso corrigido como substrato para as plantas, estava sendo direcionada no caminho correto, pois o teste experimental já iniciava o terceiro ciclo vegetativo com a rebrota da vegetação no período chuvoso ao final de 2001. Além disso, o teste agrônômico no seu segundo ciclo vegetativo apresentava uma boa recuperação e uma cobertura sobre toda área, à exceção das falhas já mencionadas. Verificou-se ainda que, a cada ciclo vegetativo, a ocorrência de plantas invasoras, novamente destacando o capim Napiê, era maior, sendo que nos canteiros do teste experimental esta gramínea já era predominante em relação à vegetação anteriormente plantada.

O teste agrônômico tinha também como objetivo avaliar o custo final do m² de cobertura vegetal, que ficou na época no valor de R\$ 2,50 (dois reais e cinquenta centavos), que era muito compatível com os custos de cobertura vegetal em trabalhos realizados em áreas de mineração, e bem abaixo dos valores solicitados por empresas que prestam serviços de cobertura vegetal em áreas degradadas.

No ano de 2001 não houve novos plantios, pois foi julgado interessante que este período fosse de observação final dos testes já realizados, analisando possíveis problemas que

pudessem comprometer o cronograma de plantios definitivos, que se iniciariam no ano de 2002. Durante estas observações, verificou-se que o capim napiê que já ocupava a maioria das áreas do teste experimental, bem como a rebrota seguinte do teste agrônômico, não recrudescia tanto quanto a vegetação originalmente plantada, o que mantinha a área coberta durante o ano todo.

5.7 - Plantios definitivos

Em Setembro de 2002 foi iniciado o primeiro plantio definitivo, em uma área de 40.000 m², que correspondia aos taludes da face leste da pilha de Fosfogesso. Nesta ocasião foram abertos acessos para as bermas destes taludes, de forma a permitir o acesso de caminhões em todos os taludes a serem plantados. A metodologia de plantio foi a mesma adotada para o teste agrônômico. Os resultados deste plantio foram considerados bons, com a cobertura vegetal ocupando grande parte de toda área plantada. No entanto novas falhas ocorreram, e novamente a causa destas falhas foi atribuída à má distribuição da mistura ou à falta de incorporação.

No ano de 2003 iniciou o plantio de 80.000 m² em diversos taludes da pilha, pois não havia disponibilidade de uma área contínua nesta dimensão. Esta condição apresentou-se como mais um desafio, pois a pilha da Fosfertil em Uberaba, além de ser uma área de estocagem de Fosfogesso, é também uma área de retirada deste produto para comercialização, havendo um sistema de produção para o mercado agrícola e para as indústrias cimenteiras. Além disso grande parte da pilha ainda se encontra em fase de alteamento, obrigando o trabalho de cobertura vegetal conviver obrigatoriamente com estas atividades.

Esta condição de plantio em áreas distintas com diferentes declividades de taludes e diferentes comprimentos de rampa trouxe uma condição nova e seus reflexos começaram a aparecer a partir das primeiras chuvas, quando ocorreram focos de erosão laminar, presença de erosão em sulco, bem como, falhas representativas que levaram a um replantio em pelo menos 30% da área plantada. Neste ano também foi introduzida a semente de girassol no coquetel que vinha sendo utilizado, com o intuito de ter uma planta mais precoce na produção de cobertura vegetal. A adição do girassol permitiu ainda melhorar a capacidade de biodegradação do manto orgânico, a diversidade de espécies de plantas, a estética da vegetação e a atração da fauna.

Em 2004, tendo em vista as dificuldades surgidas no plantio de 2003, houve uma revisão do cronograma de cobertura vegetal da pilha de Fosfogesso. Os motivos desta mudança serão detalhados no item 5.9, referente a análise da vegetação. Neste ano foi plantado uma área de 67.000 m², correspondendo a face oeste do compartimento C, que esta voltada para frente da fábrica. Novamente devido ao grande comprimento de rampa dos taludes existentes nesta face, foi verificado a presença de erosão laminar e em sulco, que obrigou um replantio em 20% da área.

Em 2005 foi realizado um plantio de 48.000 m² na continuidade do plantio do ano anterior, que tiveram o comportamento semelhante, com obrigatoriedade de replantio em 15% da área devido a presença de erosão.

O último plantio realizado até a elaboração do presente trabalho, foi o realizado em 2006, com uma área de 38.000 m², que não apresentou nenhum problema especial, a não ser um período forte de veranico, que obrigou a um ressemeio, em pelo menos 10% da área.

5.8 - Análise estatística

Gomes (1987) define os experimentos em blocos casualizados como talvez, o mais importante delineamento experimental em experimentação agrônômica. Isto porque o controle local é dado pelos blocos, que devem ser o mais homogêneo possível e devem incluir todos os tratamentos a serem analisados. As repetições, ou seja, os demais blocos podem ser feitos em outras áreas homogêneas, não necessariamente semelhantes à primeira. Para experimentos agrônômicos, isto é muito importante, tendo em vista a dificuldade de se ter áreas homogêneas de maior porte.

Por ocasião do teste experimental, conforme já relatado, os blocos foram concebidos de forma a conter os cinco tratamentos, dispostos em cinco canteiros nos quais foram feitos os plantios conforme já mostrado na Tabela 4.1. Com estes tratamentos, foi possível analisar não só o que proporcionaria melhor resultado, como também analisar o efeito de cada insumo adicionado, permitindo após os resultados, optar pelo melhor manejo a se adotar no plantio.

Nos trabalhos de recuperação de áreas degradadas são analisados os resultados pela cobertura vegetal obtida. Os técnicos, de forma empírica, adotam que, se a cobertura atingir mais de 50% da área de forma homogênea, sem a formação de reboleiras e não apresentar falhas, o

resultado é considerado satisfatório. Para tanto, resolveu-se adotar como fator a ser mensurado neste trabalho, a cobertura vegetal proporcionada por cada tratamento durante todo o período de observação do teste experimental.

O vigor vegetativo também foi um fator observado, pois as plantas poderiam proporcionar uma cobertura vegetal, mas com baixo vigor, o que redundaria em baixa produção de matéria orgânica, pouco material propagativo e, dificilmente, completaria seu ciclo, com rebrota no ano seguinte.

Os resultados da cobertura vegetal verificada no plantio realizado em 1999, bem como da rebrota da vegetação no ano de 2000, podem ser vistos nas Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8.

Tabela 5.6 - Resultados da cobertura vegetal do bloco 1

	<i>G</i>		<i>G+C</i>		<i>G+C</i> <i>+MO</i>		<i>G+C</i> <i>+T</i>		<i>G+C+</i> <i>T+MO</i>	
	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%
Gr + L	30	12	50	38	60	44	90	80	100	100
L	25	8	40	34	50	33	75	70	90	90
Gr	10	5	20	16	30	23	55	50	80	80
Média	21,7	8,3	36,7	27,3	46,7	33,3	73,3	66,7	90	90

G – Gesso, CV - Cobertura Vegetal, Gr - Gramínea, L – Leguminosa, VG- Vigor C – Calcário, MO - Matéria Orgânica, T - Terra

Tabela 5.7 - Resultados da cobertura vegetal do bloco 2

	<i>G</i>		<i>G+C</i>		<i>G+C</i> <i>+MO</i>		<i>G+C</i> <i>+T</i>		<i>G+C+</i> <i>T+MO</i>	
	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%
Gr + L	25	10	45	31	65	55	95	90	100	100
L	15	7	35	23	55	45	80	80	95	95
Gr	10	5	20	14	30	20	70	65	90	90
Média	16,7	7,3	33,3	22,7	50,0	40,0	81,67	78,3	95	95

G – Gesso, CV - Cobertura Vegetal, Gr - Gramínea, L – Leguminosa, VG- Vigor C – Calcário, MO - Matéria Orgânica, T - Terra

Tabela 5.8 - Resultados da cobertura do bloco 3

	<i>G</i>		<i>G+C</i>		<i>G+C</i> <i>+MO</i>		<i>G+C</i> <i>+T</i>		<i>G+C+</i> <i>T+MO</i>	
	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%	1999 cv%	2000 cv%
<u>Gr + L</u>	45	30	45	35	60	52	95	90	100	100
<u>L</u>	35	14	35	30	50	40	90	80	100	100
<u>Gr</u>	15	5	25	10	30	20	80	75	100	100
Média	31,7	16,3	35,0	25,0	46,7	37,3	88,3	81,7	100	100

G – Gesso, CV - Cobertura Vegetal, Gr - Gramínea, L – Leguminosa, VG- Vigor C – Calcário, MO - Matéria Orgânica, T - Terra

A separação de leguminosas e gramíneas adotada foi simplesmente para se verificar qual dos dois gêneros daria a melhor resposta, sem que isto fizesse parte da análise estatística.

Como já comentado, o resultado do tratamento em que se utilizou a mistura de todos os insumos, mostrou-se muito mais promissora que os demais tratamentos, o que permitiu na época utilizá-la sem maiores análises. No entanto, na análise destes resultados, já cabe algumas discussões, antes da análise estatística propriamente dita.

O vigor vegetativo do tratamento testemunha, foi considerado fraco, tendo em vista apresentar as duas características que comprometem o vigor, ou seja, claras evidências de sintomas nutricional, notadamente de magnésio, potássio e nitrogênio, bem como o crescimento comprometido, pela baixa produção de galhos e folhas, tortuosidade, tamanho menor que a planta normal, entorse de caule e enrolamento de folhas.

Ambos os tratamentos, tanto o que utilizou somente o calcário como insumo, quanto o que utilizou calcário mais matéria orgânica, apresentaram um vigor vegetativo médio, pois evidenciaram pelo menos uma das características que comprometia o vigor vegetativo, sendo que neste caso, os sintomas de deficiência nutricional, foi o mais relevante.

A importância da análise do vigor vegetativo fica evidente ao se verificar a diferença da cobertura vegetal proporcionada pelo plantio e pela rebrota, sendo que a cobertura da rebrota se mostrava comprometida quando o vigor vegetativo foi considerado fraco e médio, ao passo que não havia muito comprometimento quando este vigor foi considerado bom, conforme

pode ser visto nas Tabelas 5.6 a 5.8. Estes resultados vêm complementar os resultados do teste experimental apresentados no item 5.5.

Para a análise de variância, foi feita a média da cobertura vegetal verificada em cada tratamento no plantio e na rebrota, permitindo a elaboração da Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Média das coberturas vegetais para os tratamentos e blocos.

<i>Tratamento</i>	<i>Bloco 1</i>	<i>Bloco 2</i>	<i>Bloco 3</i>	<i>Total dos tratamentos</i>
G	15	12	24	51
G+C	33	28	30	91
G+C+MO	40	45	42	127
G+C+T	70	80	85	235
G+C+T+MO	90	95	100	285
Total dos blocos	248	260	281	789

Mediante estes resultados, foi possível fazer a análise de variância, de forma a verificar se existiam diferenças estatísticas entre os blocos e os tratamentos, sendo que para isto, Gomes (1987) recomenda a aplicação do teste de F, conforme pode ser verificado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Análise de variância do experimento de blocos considerando a cobertura vegetal

<i>Causa da variação</i>	<i>Grau de Liberdade</i>	<i>Soma dos Quadrados</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>Fator F</i>
Blocos	2	111,6	55,8	2,83 NS
Tratamentos	4	12986,6	3246,65	164,97**
Resíduo	8	157,4	19,68	
Total	14	13255,6		

NS – Não significativo, ** Significativo em nível de 1%

A diferença estatística entre os tratamentos foi evidenciada no teste de F, no entanto, foi necessário analisar quais tratamentos diferenciavam um do outro, de forma a se conhecer quais seriam os melhores. Neste contexto, Gomes (1987) recomenda a análise de variância utilizando-se o teste de TuKey, de forma a comparar as médias dos tratamentos. Para este teste é necessário conhecer o valor de q, que é dado na Tabela apresentada por Gomes (1987) para os níveis de probabilidade de 1% e 5%. Os fatores de entrada nesta Tabela são o grau de liberdade resíduo (n') igual a oito e o número de tratamentos (n) que é igual a cinco. Os valores encontrados na Tabela foram de 4,89 para um nível de significância de 5% e de 6,62

para um nível de significância de 1%. Desta forma, todas as diferenças entre as médias dos tratamentos foram superiores a 6,62, indicando que as mesmas são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 1%. Isso significa que todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si, conforme pode ser observado na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Resultados médios das coberturas vegetais conforma os tratamentos

<i>Tratamento</i>	<i>Média dos tratamentos</i>
G	17 A
G+C	30,33 B
G+C+MO	42,33 C
G+C+T	78,33 D
G+C+T+MO	95 E

Os resultados apresentados na Tabela 5.11 indicam que à medida que se promove alguma alteração nas condições naturais do Fosfogesso na pilha já existe uma possibilidade de se instalar a cobertura vegetal. No caso da testemunha, o resultado de uma pequena cobertura vegetal foi obtido pelo fato de se ter rompido a camada de encrostamento e permitir a aeração da região das raízes. Quando se acrescenta um insumo que promove a correção do Fosfogesso, existe também uma resposta em termos de cobertura vegetal. O tratamento em que se utilizou maior quantidade de insumos foi o que deu a melhor resposta em termos de cobertura vegetal.

O tratamento utilizando o RLT 1 não foi analisado no modelo estatístico proposto, pois o mesmo foi feito após a implantação dos blocos do teste experimental. No entanto, o comportamento do canteiro que utilizou a mistura de RLT1 e matéria orgânica foi semelhante ao do canteiro que apresentou melhor média de cobertura vegetal nos tratamentos analisados. A análise estatística realizada demonstrou que a cobertura vegetal melhora significativamente à medida que se acrescenta novo insumo. Desta forma, a decisão de acrescentar o RLT1 na mistura dos insumos utilizados a partir do teste agrônômico, foi acertada, pois esta prática seguiu uma tendência demonstrada na análise estatística.

5.9 Avaliação da vegetação

A partir do ano de 2005, iniciou-se um trabalho de acompanhamento mais detalhado da cobertura vegetal da pilha de Fosfogesso e os resultados passaram a ser registrados de forma a dar mais subsídios científicos ao processo de avaliação da metodologia utilizada.

Esta análise iniciou-se pelo plantio de 2002, visto na Figura 5.4, que no ano de 2005 já tinha completado seu terceiro ciclo vegetativo e encontrava-se bastante descaracterizado da condição inicial que foi plantada. A espécie predominante encontrada neste plantio foi o capim napiê, gramínea invasora existentes nas pastagens circunvizinhas à pilha de Fosfogesso. Outra espécie verificada na área foi a Tanzânia, e em menor escala a Brachiaria. Das leguminosas plantadas, poucas sobreviveram, sendo predominante a Mucuna e em menor quantidade o feijão Guandu. No entanto, o que mais chamou atenção neste plantio foi a presença de Samambaias (pteridófitas) ocupando a parte inferior do talude próximo ao canal de retorno. Esta espécie está ocupando áreas que haviam sido plantadas e posteriormente invadidas pelo capim Napiê e áreas onde ocorreram falhas no plantio.



Figura 5.4 – Detalhe do plantio de 2002

As Samambaias são espécies anteriores às gramíneas e às leguminosas na linha de sucessão vegetal, o que as torna mais resistentes a ambientes hostis do que as espécie utilizadas no

plantio. Verificando a dominância destas pteridófitas em uma determinada área poder-se-ia questionar sobre a cobertura vegetal, uma vez que a partir de um determinado tempo de plantio as condições do substrato podem piorar, permitindo a substituição da vegetação mais evoluída na escala de sucessão por outras menos evoluídas. Este fato é um dos indicadores da importância da investigação do substrato com o passar do tempo de plantio, que será discutido no próximo item deste trabalho.

Quanto aos aspectos referentes ao vigor vegetativo, as plantas já demonstravam claras evidências de sintomas de deficiência nutricional, com surgimento de amarelecimento das folhas, diminuição do porte das plantas, perfilhamento espaçado, enrolamento de folhas.

O plantio de 2003 também apresentava grande parte de sua área ocupada pelo capim Napiê e pelo Colonião, no entanto a presença de leguminosas ainda era marcante. Da área ocupada, 70% eram as gramíneas e 30%, eram as leguminosas, sendo que entre elas destacava-se a presença da Mucuna e do feijão Guandu, mas ainda era notória a presença da Crotalaria e do Calapogônio. Conforme relatado, neste plantio foi introduzida nova espécie no coquetel de sementes, o Girassol, que apresentou um bom crescimento e uma boa cobertura, mas que no ano da avaliação feita já não possuía mais representantes da espécie. Como o plantio de 2003 foi o maior, com uma área de 80.000 m², distribuída ao longo de diversos compartimentos da pilha de Fosfogesso, esperava-se que houvesse variação no seu comportamento. Porém ele foi uniforme nos diversos pontos, com um bom desenvolvimento da cobertura vegetal, independente da variação de declividade dos taludes, do tempo de disposição do Fosfogesso ou de outro fator que viesse a interferir na qualidade da vegetação.

No tocante aos aspectos de deficiência nutricional e desenvolvimento das plantas, que traduzem o vigor vegetativo apresentado pelas plantas, neste plantio já se observa sintomas marcantes de deficiência nutricional, que vem refletindo também em um menor desenvolvimento das gramíneas, principalmente nos taludes mais baixos. Começou-se a verificar a presença de algumas samambáias, indicando que as mesmas começam a surgir com a perda de vigor das gramíneas e leguminosas. Os aspectos gerais deste plantio podem ser vistos na Figura 5.5.



Figura 5.5 - Plantio de 2003

Tendo em vista a dificuldade de se encontrar áreas contínuas, a opção de não se fazer mais o plantio no topo da pilha como previsto anteriormente, e a logística necessária para distribuição da mistura sobre a pilha de Fosfogesso em diversos pontos ao mesmo tempo, a empresa propôs à promotoria de Uberaba e à FEAM um novo cronograma de plantio, reduzindo a quantidade de área plantada anualmente. Uma das justificativas para esta redução consistiu no fato do topo da pilha ser considerado importante área de armazenamento de água não tratada, uma vez que parte desta água armazenada no topo é perdida pela evaporação reduzindo assim a quantidade a ser tratada, além de funcionar como pulmão no controle de cheias no período chuvoso.

Outra justificativa para a redução da área de plantio foi a necessidade de aumentar a quantidade de Fosfogesso para comercialização, obrigando a empresa a abrir novos canais de expedição, que ocupou áreas dos taludes a serem vegetados. Deve-se salientar que o aumento de expedição de Fosfogesso para outros usos que não o armazenamento, é uma das condicionantes do órgão ambiental, e desta forma, deve ser incentivado. O novo cronograma

foi aprovado pelas duas instituições, com uma recomendação da FEAM para priorizar as áreas expostas ao público externo.

O plantio de 2004 já foi realizado obedecendo ao novo cronograma de plantio e à recomendação da FEAM. Estava previsto inicialmente, o plantio de 40.000 m², no entanto, devido aos novos canais de expedição construídos, foi desativada uma área de expedição com 27.000 m², que era vizinha à área de plantio, não gerando problemas de logística e de acompanhamento. Na época do levantamento da vegetação deste plantio, a dominância das plantas eram de 40% de gramíneas e 60% de leguminosas. Dentre as leguminosas, destacou-se a presença da mucuna, ocupando grandes áreas, do feijão guandu e da crotalária. Entre as gramíneas, 50% era do Napiê que é invasor e 50% da mistura de brachiária e tanzânia originalmente plantadas. Mais uma vez durante esta avaliação não foi encontrada a presença do girassol entre as plantas que apresentaram a rebrota.

Quanto às características para análise do vigor vegetativo, as plantas já apresentavam sinais de deficiência nutricional, porém não tão marcantes como os verificados nos plantios anteriores, sendo que seu crescimento e porte foram normais, não apresentando nenhuma alteração significativa. A Figura 5.6 mostra este plantio por ocasião do levantamento realizado.

O plantio de 2005, mostrado na Figura 5.7, foi feito em uma área de 36.000 m², nos taludes Sul dos compartimentos A e B. Na ocasião da avaliação, a vegetação apresentava o predomínio das plantas originalmente plantadas, sendo a maioria as leguminosas Crotalária e Mucuna, verificando poucas espécies invasoras. Vale ressaltar que as gramíneas plantadas ainda eram pouco predominantes na área. Confirmou-se que o girassol permite uma cobertura vegetal precoce, com grande predominância desta espécie nos primeiros três meses de plantio. Aos poucos esta dominância foi sendo substituída pela crotalária, durante o primeiro ciclo vegetativo, tendo sido verificado no sub bosque embaixo do dossel das copas da Crotalárias a presença da mucuna que tem hábito trepador, e de gramíneas com baixo crescimento. No final do ciclo vegetativo, no mês de Junho, a mucuna começou a predominar, inclusive ocupando parte do dossel, devido a mesma ter usado a própria crotalária como suporte. Como este plantio estava no final do seu ciclo vegetativo e não tinha apresentado nenhuma rebrota, o mesmo serviu de base para o comparativo dos demais plantios já realizados.



Figura 5.6 - Plantio de 2004



Figura 5.7 - Plantio 2005

Desta forma nota-se que a cobertura vegetal tem como base inicial a vegetação plantada, com invasão de espécies que vêm junto com o material usado na mistura, principalmente o RLT 1 sujeito à contaminação por sementes. Com o início da germinação, a área foi coberta com o girassol que atinge uma altura média de 70 cm e se manteve dominante até a sua floração, cerca de sessenta dias após o plantio. Posteriormente, verificou-se a mudança desta dominância pela crotalária e pelo feijão guandu em menor grau, permanecendo assim até o fim do ciclo vegetativo cerca de seis meses após o plantio, com uma altura média de planta de 150 cm. Mesmo com a dominância da crotalária sobre o dossel, verificou-se na área um sub-bosque com a presença das gramíneas e da mucuna, que por ter o hábito de trepadeira, foi enrolando nas galhadas da Crotalária. Esta característica se manteve durante todo o primeiro ano do plantio.

Com o início da rebrota no segundo ano, as gramíneas tiveram a tendência de ocupar a maior parte do plantio, mas ainda foi grande a presença das leguminosas, principalmente a mucuna e crotalária, e começa-se a verificar a presença do napiê, com grandes moitas espalhadas por toda área plantada. A partir do terceiro ano, o capim napiê e a tanzânia apresentaram a tendência de ocupar toda a área, aumentando o porte da vegetação para 200 cm e proporcionando um fechamento completo da vegetação. As leguminosas passaram a ficar mais espaçadas entre as moitas do capim ou por cima dele, como é o caso da mucuna. Neste ponto, apesar de haver o recrudescimento das plantas, não se notou mais uma grande diferença entre o período chuvoso e o seco, a não ser pelo vigor das plantas. Outro fator interessante, foi a atividade biológica de insetos e pássaros que se iniciou com o plantio do primeiro ano, se tornando mais intensa nos plantios mais antigos e havendo vários endemismos principalmente em relação a entomofauna.

5.10 - Estudo das falhas

A ocorrência de falhas nos plantios realizados desde o ano de 2002, sempre intrigaram a equipe responsável pela condução dos mesmos. A tendência era atribuir estas falhas a problemas relacionados ao processo de distribuição ou incorporação da mistura. No entanto, com o aumento da investigação sobre elas, começou-se a verificar a presença destas falhas em áreas onde comprovadamente os trabalhos da mistura foram feitos dentro das recomendações, descartando-se, portanto, a hipótese de manejo mal conduzido. Em 2006 aumentou-se a necessidade de investigar estas falhas a fim de se verificar se as mesmas estavam dentro dos

limites de percentual obtidos no teste experimental. Neste teste, obteve-se índices de cobertura vegetal acima de 95%, sendo que desta forma, o percentual de falhas deveria ser menor que 5%.

Neste item são apresentados estudos que compreenderam a análise individual de todas as falhas nos plantios realizados no período de 2002 a 2005. Foi verificado o número de falhas por plantio, a causa de ocorrência de cada falha, a área que a mesma ocupava e o percentual de área de falha em relação ao total plantado em cada ano de plantio.

A maioria das falhas encontradas tinham como característica comum, estarem situadas na parte baixa dos taludes, próximas ao canal de pé, e formarem uma superfície na forma de uma meia elipse. Ao analisar o perfil do Fosfogesso através de trincheiras abertas nestas áreas, constatou-se que o mesmo estava muito úmido, mesmo em época que os perfis tanto da área vegetada quanto de áreas ainda não plantadas, apresentavam-se secos. Este fato foi discutido com o responsável técnico e gerente dos trabalhos na pilha e com o consultor de geotecnia e hidrogeologia, constatando-se que a presença desta umidade poderia ser devido à exudação de água ácida provinda do interior da pilha ou ascendência desta água por capilaridade, vinda do canal de pé. Esta exudação acidificava o substrato, impedindo o crescimento da vegetação no local, sendo esta causa responsável pela maioria das falhas ocorridas nos plantios. A Figura 5.8 mostra um exemplo deste tipo de falha.

Uma segunda de causa de falhas investigada foi o escoamento de água ácida provinda das bermas superiores, normalmente nos períodos chuvosos. Em dias de alta pluviosidade ocorria a extravasão de água ácida, que escorria em locais onde não havia proteção, acidificando a região e matando a vegetação ali existente e não permitindo mais a rebrota no ano seguinte conforme pode ser visto na Figura 5.9. Verificou-se ainda que algumas falhas ocorriam devido ao “Spray” de água ácida provinda das quedas de drenagem das lagoas superiores, ou pela evaporação de água da lagoa superior que é levada pelo vento para os taludes situados acima destas lagoas. Isto pode ser observado na Figura 5.10.



Figura 5.8 - Falha devido a exudação de água ácida ou ascensão capilar



Figura 5.9 – Falha devido ao escoamento superficial de água ácida



Figura 5.10 - Falha devido ao “Spray” da cachoeira de drenagem

Foram verificadas ainda ocorrências de falhas devido à má distribuição ou incorporação da mistura, porém pouco expressivas (apenas quatro) e em apenas dois plantios. Isto demonstra que a premissa anterior, de atribuir a falha devido a erros no plantio, não era correta. Houve também uma falha que ocorreu devido à operação da pilha, onde para melhoria de tráfego de retirada do Fosfogesso foi depositada uma quantidade deste em uma área já vegetada. O levantamento destas falhas é apresentado a seguir:

- O plantio realizado em 2002 apresentou dez focos de falhas diferentes, com uma área total aproximada de 530 m^2 , sendo que destes dez focos seis eram devido à exudação de água ácida ou ascendência capilar desta água provinda do canal de pé; um foco devido a extravazão de água ácida provinda da berma superior; um foco, devido ao aerosol de água ácida provinda de uma cachoeira de drenagem de água das lagoas superiores e um devido à presença de água ácida que inibiu o efeito corretivo dos insumos por ocasião do plantio. Considerando que a área plantada nesta ocasião foi de 40.000 m^2 , a área total de falha foi de 1,32%.

- No plantio realizado em 2003, com uma área total de 80.000 m², foram verificados seis focos de falhas, com uma área total de 310 m², correspondendo a um percentual de 0,4%. A causa destas seis falhas foi a exudação de água ácida ou a ascendência capilar desta água provinda do canal de pé.
- Para o plantio realizado em 2004, foram identificados 9 focos de falhas, sendo cinco destes focos atribuídos à evaporação de água ácida provinda das lagoas A e B, cuja dominância de ventos arrasta o vapor para a área de plantio no anel superior das lagoas C e D, prejudicando o desenvolvimento da vegetação. Três focos foram devido à exudação de água ácida ou ascendência capilar desta água provinda do canal de pé, e um foco foi proporcionado pela operação da pilha para alargamento da praça de retorno de caminhões da expedição de gesso. A área total de falhas foi de 550 m², para uma área total de plantio de 48.000 m², correspondendo a 1,15%.
- Finalmente no último plantio observado, realizado no ano de 2005, foram verificados três focos de falhas, com uma área de 300 m² para uma área total de 38.000 m², correspondendo a um percentual de falha de 1,23%. As principais causas foram devido a problemas de incorporação de insumos na época do plantio, para uma das falhas, e à exudação de água ácida ou ascendência capilar desta água provinda do canal de pé para as outras duas falhas restantes

Portanto, ao verificar estes resultados, que são apresentados na Tabela 5.12, observa-se que os plantios definitivos corresponderam ao teste experimental, já que os tratamentos escolhidos foram aqueles que apresentaram uma cobertura vegetal nos dois anos de testes superior a 95% e todos os plantios realizados, apresentaram uma cobertura vegetal definitiva, superior a 98%.

Tabela 5.12 – Quadro resumo do levantamento de falhas

<i>Plantio</i>	<i>Causa</i>		<i>Das</i>	<i>Falhas</i>	<i>Nº de</i> <i>Operação</i>	<i>Falhas</i>	<i>Área</i>	<i>% de</i>
	Exudação	Extravazão	Spray	Incorporação			Total m ²	falhas
2002	6	1	1	2		10	530	1,32
2003	6					6	310	0,42
2004	3		5		1	9	550	1,15
2005	1			2		3	300	1,23

5.11 - Avaliação do substrato

A avaliação do substrato sempre foi uma das premissas mais importantes para se avaliar o processo de cobertura vegetal, devido à necessidade da modificação do Fosfogesso para que o mesmo fosse a base de sustentação das plantas. Desta forma, o conhecimento das condições edafológicas deste substrato foi de suma importância para compreensão de todo o processo. Esta avaliação iniciou-se em 2005, quando foram abertas oito trincheiras nos diversos plantios, com o intuito de avaliar o perfil do Fosfogesso e retirar algumas amostras da camada superficial do mesmo para análise de fertilidade. Estas trincheiras foram abertas com auxílio de um trado, onde procurou-se penetrar até a profundidade abaixo da superfície alterada pelo processo de manejo e pela vegetação instalada. Verificou-se também a condição do substrato nas áreas de falha e nas áreas onde ocorriam as samambaias.

A trincheira um foi aberta em uma área do plantio de 2002, com a vegetação apresentando bom estado e vigor vegetativo, com presença de gramíneas e leguminosas, tendo sido verificados três diferentes horizontes. O primeiro com profundidade efetiva de 7 cm, correspondendo ao horizonte orgânico, com cor escura, indicando lixiviação e mineralização da matéria orgânica. O resíduo do processo de correção do Fosfogesso já encontrava-se bastante alterado com presença abundante de raízes. A estrutura predominante era de blocos angulares e sub-angulares com tamanho entre 3 a 7 mm de diâmetro, com muitos poros, e sem indícios do processo de cristalização.

O horizonte subjacente ao orgânico superficial apresentou também cor escura, porém com predomínio de material do Fosfogesso alterado, com estruturas granulares e em blocos sub-angulares pequenos e médios. A matéria orgânica presente demonstrava ser originada da lixiviação do horizonte superior e das raízes, cuja presença era abundante, com uma profundidade média entre os 5 e 15 cm. Abaixo dos 15 cm até a profundidade de 25 cm foi encontrado um horizonte que foi denominado de horizonte de transição, de cor branca, com presença de poucas raízes, estruturas de blocos sub-angulares fracas. Apresentava poucas raízes e uma transição difusa para o Fosfogesso original que se situava abaixo dos 25 cm.

A trincheira dois foi aberta em uma área onde a cobertura vegetal predominante era a samambaia. As características do perfil do Fosfogesso eram muito semelhantes às verificadas na trincheira aberta sob a vegetação predominante do plantio de 2002, indicando que, pelos

aspectos visuais, não se notava diferença entre a área com vegetação normal e a área de samambaia.

A trincheira três foi aberta em uma área do plantio de 2002, onde a vegetação apresentava um grau de recrudescimento muito forte, com tendência a virar uma área de falha. A camada superficial, em torno de 1cm de espessura já apresentava sinal de cristalização e o Fosfogesso muito pouco alterado até os 5 cm de profundidade. Abaixo desta camada de 5 cm até os 12 cm de profundidade foi encontrada uma camada com as características da mistura, com presença de terra, RLT 1 e matéria orgânica porém com a presença moderada de raízes, sendo detectado logo abaixo desta camada o Fosfogesso original. Este fato pôde explicar as falhas decorrentes de erro no processo de incorporação da mistura, pois durante esta operação foi lançado Fosfogesso sobre a mistura espalhada sem a incorporação devida. Este Fosfogesso não corrigido inviabilizava aos poucos a presença da vegetação, acarretando em uma falha.

A trincheira quatro foi aberta também em área do plantio 2002 em um local de falha devido à exudação de água ácida. Verificou-se uma camada de aproximadamente um centímetro de Fosfogesso cristalizado, sendo que abaixo da cristalização encontrou-se um Fosfogesso alterado, com estruturação em blocos sub-angulares, ainda com presença de terra, mas pouca matéria orgânica. Foi verificado que após 14 cm de profundidade, o Fosfogesso apresentava-se em condição natural.

As trincheiras cinco e seis foram abertas no plantio 2003, em diferentes áreas. Verificou-se que ambas apresentavam perfis muito semelhantes, ou seja, uma primeira camada entre 0 e 15 cm, com a presença de uma mistura de Fosfogesso, terra e matéria orgânica, com coloração escura, com raízes abundantes, sem presença de cristalização, com um grau de estruturação muito bom, com estruturas granulares e de blocos sub-angulares com diâmetros variando entre 3 a 6 mm e alto grau de porosidade. Entre a profundidade de 15 a 25 cm, foi verificado um Fosfogesso branco, com estruturas em blocos sub-angulares, com presença de muitas raízes e uma transição difusa para o Fosfogesso original, mostrando que toda área manejada havia sofrido interferência.

As trincheiras sete e oito foram abertas na área do plantio de 2004, com uma camada orgânica inicial de aproximadamente 15 cm de profundidade. Apresentou características da mistura de insumos utilizada, presença abundante de raízes e grau de estruturação ainda fraco, mas notando-se a presença de estruturas em blocos sub-angulares. Abaixo desta camada verificou-

se uma transição difusa entre a área alterada e o Fosfogesso original, com presença de poucas raízes.

Para conclusão das avaliações foram feitas amostragens da camada superficial do Fosfogesso em cada plantio. No plantio de 2002 foi ainda amostrado o Fosfogesso que encontrava-se sob a vegetação de Samambaia na área de falha, cujo resultados podem ser verificados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Análise de fertilidade realizada em 2005

<i>Amostra</i>	<i>M.O.</i>	<i>pH</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>H+Al</i>
	%		Mg/ Dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³
P/2004/CV	5,0	6,2	460,0	0,9	957,0	5,0	0,0	16,0
P/2003/CV	5,0	5,8	812,0	0,9	1084,0	5,0	0,0	25,0
P/2002/CV	6,0	4,8	232,0	0,6	949,0	1,0	11,4	36,0
P/2002/SV	4,0	3,1	140,0	0,5	993,0	1,0	49,9	88,0
P/2002/Sa	9,0	4,9	504,0	0,7	1114,0	1,0	7,4	28,0

CV – Cobertura Vegetal, SV – Sem vegetação, Sa - Samambaia

Os resultados das análises apresentados na Tabela 5.13 nos diversos plantios realizados até o ano de 2005 demonstram certas tendências, valendo comentar sobre cada elemento em separado, à exceção do cálcio e fósforo que são componentes do Fosfogesso e portanto com altos índices de ocorrência, independente do passar dos anos.

Inicialmente nota-se que com o passar do tempo, existe um acréscimo de matéria orgânica, salvo nas áreas de falha. Este fato é perfeitamente explicável, tendo em vista o acréscimo orgânico proporcionado pela vegetação, que vem ano a ano produzindo mais material que vai sendo incorporada às camadas do Fosfogesso pelo processo de morte de raízes ou lixiviação provinda das camadas superiores. Não houve variação do ano de 2003 para o de 2004, podendo ser explicado pelo fato do processo de estruturação não estar consolidado, reduzindo assim, a lixiviação de matéria orgânica.

Com relação ao pH nota-se uma tendência de redução dos seus valores com o passar do tempo, bem como uma elevação da acidez potencial (H+Al), indicando uma acidificação do meio, que pode preliminarmente ser atribuída à redução do poder de neutralização do calcário e do RLT 1. No entanto, Brady (1989) atenta para o fato de acidificação do meio devido à presença de ácidos orgânicos provindos da decomposição da matéria orgânica e da própria

troca de cátions feita com a planta. Richardson (1997) alerta para este problema, atribuindo uma tendência de acidificação devido a ascensão de água ácida do interior da pilha para a superfície, pela capilaridade do Fosfogesso. Fuleiham e Ingra (2005) também citam este problema e concluem que uma compactação sub-superficial do Fosfogesso é uma boa forma de controle deste fenômeno.

Com relação ao potássio, importante macro-nutriente para as plantas, as amostras demonstram um baixo teor deste elemento para todos os plantios, com uma tendência de queda de seus valores ao longo dos anos. A principal fonte deste elemento consistiu na adubação de plantio com o NPK 4-14-8 e na adubação de cobertura com o NPK 20-05-20. Estes resultados indicam a necessidade de novas aplicações de adubação de coberturas com o passar do tempo. O mesmo pode-se dizer em relação ao magnésio, outro nutriente importante, que apresentou valores bons nos plantios mais recentes, mas mostrou uma queda brusca com relação ao plantio de 2002, indicando uma perda de eficiência do calcário, fonte deste elemento. Richardson (1997) em seu trabalho de cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso da Flórida, alerta para este problema verificado com o potássio e magnésio, recomendando adubações anuais com estes elementos.

Nas análises químicas do plantio de 2002 não foram verificadas diferenças entre as áreas de vegetação normal e a área coberta com samambaia, repetindo o ocorrido com a análise visual do perfil do substrato. Isto impede de tirar conclusões sobre o substrato para explicar a presença desta espécie na vegetação. No entanto, como a samambaia só ocorreu no plantio de 2002, o aumento da acidez potencial e a redução do potássio e magnésio podem ser uma explicação para seu surgimento, ou seja, estas condições do substrato podem estar contribuindo para uma substituição das gramíneas pela samambaias.

Para comprovação destes resultados, em Setembro de 2006 foram realizados novos levantamentos, com abertura de 28 trincheiras em diversos pontos dos plantios realizados entre 2002 e 2005. Desta vez, o intuito era de analisar com maior detalhe o substrato e verificar se as observações realizadas em 2005 se repetiam, de forma a estabelecer um padrão do comportamento do substrato com os anos de plantio. Estas trincheiras foram abertas com enxada, para melhor visualização do perfil.

No plantio de 2002 foram abertas dez trincheiras ao todo, sendo seis destas, em pontos diversos e com vegetação em bom estado de cobertura vegetal e com bom vigor vegetativo;

duas trincheiras foram abertas na área onde predomina a vegetação de samambaia e duas nas áreas de ocorrência de falhas devido à exudação de água ácida.

As trincheiras abertas na área de cobertura vegetal apresentaram perfis semelhantes, com horizonte orgânico com 15 a 20 cm de profundidade, com a cor escura e presença abundante de raízes. Apresentavam ainda um grau elevado de estruturação, sendo que as estruturas predominantes consistiam de blocos sub-angulares médios e pequenos de consistência moderada, e a transição com a camada subjacente foi abrupta e irregular. A camada logo abaixo do manto orgânico, tida como uma camada de transição, apresentou o Fosfogesso com a cor natural, com um grau de estruturação fraco, com a presença de poucas raízes e porosidade moderada. A terceira camada já era o Fosfogesso em estado natural, sem estrutura, com disposição laminar e ausência completa de raízes, como pode ser verificado na Figura 5.11.

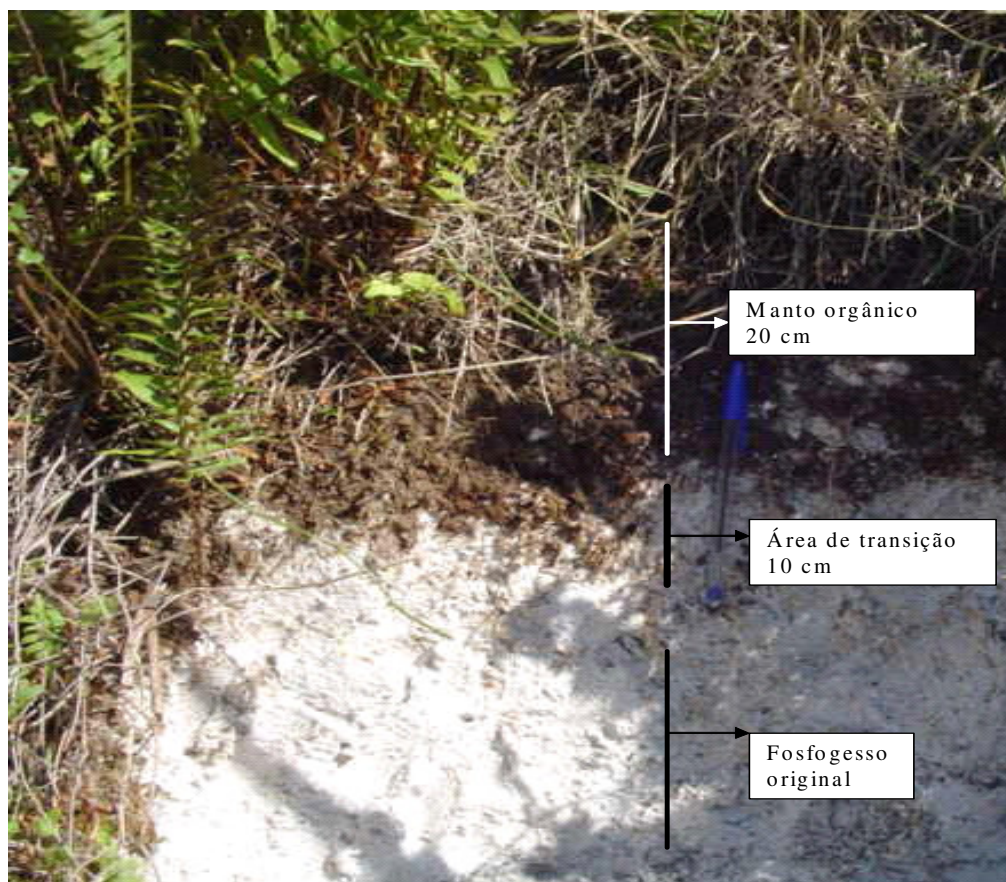


Figura 5.11 - Trincheira aberta na área de vegetação do plantio de 2002

Nas áreas de falha, as trincheiras abertas mostraram que não existia um horizonte orgânico superficial como na área vegetada, sendo que o resquício de matéria orgânica encontrada é aquela aplicada por ocasião do plantio. Nesta trincheira pôde ser verificado que existia a camada cristalizada superficial, e logo abaixo dela, um horizonte com aproximadamente 15 cm de profundidade, que apresentava início de um processo de estruturação com estruturas bem fracas em blocos sub angulares. Logo abaixo desta camada aparece o Fosfogesso original mantendo suas características e com transição difusa entre as camadas, como pode ser visto na Figura 5.12. Outra característica das trincheiras abertas na área de falha, é que as mesmas não mostraram mais a coloração da terra e do RLT 1 aplicado naquela ocasião. Isto pode indicar que este material foi carreado pela erosão antes de ocorrer o processo de cristalização, já que não houve uma cobertura vegetal que prevenisse a ocorrência de processos erosivos.

As trincheiras abertas na área de Samambaia, como no levantamento do ano anterior, apresentaram perfis muito semelhantes à área com vegetação de gramíneas, não permitindo uma avaliação definitiva da presença destas pteridófitas.



Figura 5.12 - Trincheira aberta na área de falha do plantio 2002

No plantio de 2003, por ser o maior, e ter ocupado diversos tipos de taludes, foram abertas doze trincheiras em pontos diversos, sendo que a maioria foi em áreas vegetadas e apenas duas nas áreas de falha. Os resultados das observações das trincheiras das áreas vegetadas foram muito semelhantes às observações realizadas no plantio de 2002, com o Fosfogesso apresentando ausência de camada cristalizada, um horizonte orgânico com profundidade variando entre 10 a 20 cm, e camada intermediária entre o horizonte orgânico e o Fosfogesso natural como pode ser observado na Figura 5.13. As mesmas observações feitas nas trincheiras do plantio de 2002, no tocante à presença de raízes, estruturação e transição entre camadas repetiram-se no plantio de 2003. As trincheiras abertas na área de falha do plantio de 2003, apresentaram uma camada cristalizada de 0,5 cm de espessura sobre uma camada de 15 cm de Fosfogesso modificado, com um grau de estrutura fraco e resquícios da mistura de terra, RLT 1 e matéria orgânica aplicada, porém com perfil úmido.



Figura – 5.13 – trincheira aberta no plantio de 2003

No plantio de 2004 foram abertas cinco trincheiras, sendo todas em áreas vegetadas. Não houve necessidade de fazer uma investigação detalhada nas áreas onde ocorreram falhas no plantio, pois as causas já eram bem conhecidas. Estas trincheiras apresentaram uma camada

superficial variando de 10 a 20 cm, com uma diferença em relação aos plantios de 2002 e 2003, que era a coloração cinza desta camada, muito semelhante à cor do RLT1. Isto indica que os insumos aplicados ainda não se misturaram completamente ao gesso por ação da atividade das raízes, bem como não houve migração de matéria orgânica para dentro do perfil. Este horizonte cinza ainda não havia apresentado um grau de estruturação tão definido quanto os outros dois plantios já descritos, mostrando uma estruturação bem fraca de blocos sub-angulares. O osfogesso tratado neste caso, apresentou-se de forma pulverulenta, bastante solto e com uma porosidade indiscriminada, não sendo ainda expressiva a presença de macro-poros entre as estruturas. Verificou-se a presença de raízes em boa quantidade, mas não tão abundante quanto os perfis superficiais descritos anteriormente, como pode ser verificado na Figura 5.14.



Figura 5.14 - Trincheira aberta na área do plantio de 2004

Essas características explicam a diferença destes horizontes, em relação aos anteriores, pois com a ausência de macro-poros, que ainda não se formaram devido à falta de estruturação, o horizonte superficial não recebeu lixiviação de matéria orgânica mineralizada, que é responsável pela cor escura deste horizonte. Também a falta de circulação de ar devido a falta dos macro-poros não permitiu a oxidação da matéria orgânica existente no próprio horizonte.

O plantio de 2005 foi o mais recente analisado, tendo apenas um ano e não apresentando, ainda, o segundo ciclo de rebrota. Neste caso foram abertas cinco trincheiras, sendo três em área de vegetação e duas em área de falha. Foi interessante observar que o horizonte superficial apresentou as mesmas características do Fosfogesso preparado com a mistura, ou seja, de cor rosada devido a cor vermelha da terra provinda do Latossolo, ocupando uma profundidade média de 15 cm, pulverizada, sem estruturas e com presença moderada de raízes, com uma transição plana entre a camada preparada e o Fosfogesso original, não tendo sido notada a camada de transição, que ocorre nos plantios com mais de dois anos, como pode ser verificado na Figura 5.15.



Figura 5.15 - Trincheira aberta em área de vegetação do plantio de 2005

As alterações verificadas no Fosfogesso ao longo do tempo de instalação da cobertura vegetal são significativas, começando pela mudança de coloração do horizonte superficial, que no primeiro ano possui uma cor rósea, determinada pela cor vermelha do Latossolo colocada na mistura, e ao longo do tempo vai se tornando cinza até atingir uma cor próxima ao preto. Esta mudança de cor é determinada principalmente pelo acréscimo de matéria orgânica, proporcionado pela lixiviação e pelas raízes presentes neste horizonte, demonstrando que

houve mudanças nas condições de permeabilidade e aeração do substrato. Isto é decorrência da alteração de estruturação do Fosfogesso, que ocorreu ao longo do anos de plantio.

Verifica-se que o substrato sai de uma situação em que Fosfogesso original se apresenta colmatado com estrutura laminar, com pouca porosidade e a partir do primeiro ano, esta condição muda para uma situação em que substrato apresenta-se pulverulento, sem estruturas, mas com grande porosidade e permeabilidade. Com o passar do tempo inicia-se a formação de estruturas granulares e de blocos sub-angulares de consistência fraca, mas que nos anos seguintes aumentam não só em tamanho mas em consistência, passando a ser mais firmes. Isto permite um rearranjo do substrato com presença de micro e macro-poros, que aumenta a circulação de água e ar ao longo do perfil, permitindo a lixiviação e oxidação da matéria orgânica e refletindo assim, na mudança de coloração anteriormente mencionada.

Outro aspecto interessante observado na análise destes perfis é a presença do horizonte de transição formado entre o horizonte superficial e o Fosfogesso, que aparece nos plantios com mais de dois anos de instalação. Trata-se de um aprofundamento das condições verificadas no horizonte superficial no que tange à estruturação, que é determinada pela matéria orgânica, devido à presença de raízes que chegaram a profundidade maiores. No entanto, a circulação de ar e água neste horizonte não é tão grande que permita ocorrer a lixiviação ou mesmo a oxidação desta matéria orgânica, que alteraria a cor natural do Fosfogesso.

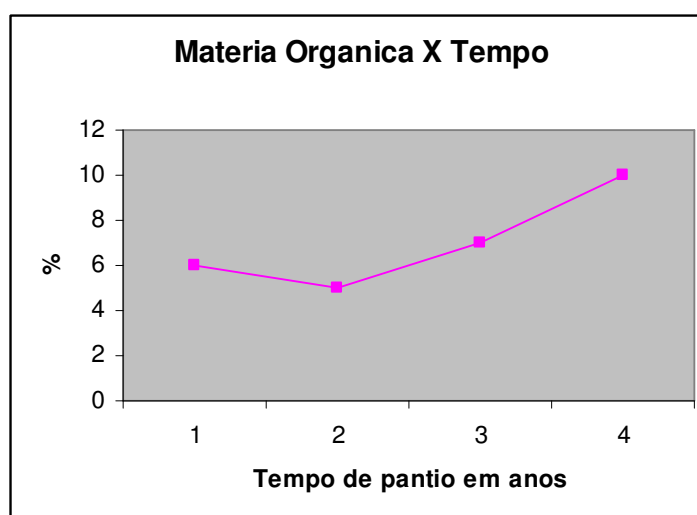
Ainda dentro das alterações físicas do Fosfogesso, foi observado em todas as trincheiras abertas nas áreas sob cobertura vegetal a ausência do processo de cristalização. Com o desenvolvimento do perfil verifica-se que é menor ainda a possibilidade de ocorrência deste processo. Acredita-se que o processo de estruturação associado à presença do manto orgânico e à própria vegetação com desenvolvimento radicular sejam responsáveis por impedir este processo. Nota-se que alguns destes fatores isolados não determinam a instalação do processo de cristalização, já que nas trincheiras abertas nas áreas de falha, mesmo havendo um horizonte já estruturado ou presença de matéria orgânica, foi verificada a existência de cristalização.

Quanto às alterações químicas do substrato, com o levantamento realizado em 2006, confirmou-se a tendência de alteração dos elementos analisados. Isto pode ser verificado fazendo um comparativo entre a Tabela 5.13 apresentada anteriormente, e a Tabela 5.14 apresentada a seguir.

Tabela 5.14 – Análise de fertilidade do levantamento de 2006

<i>Plantio</i>	<i>M.O.</i>	<i>pH</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>H+Al</i>
	%		Mg/ Dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³
2005	6,0	5,8	180,0	1,2	870,0	6,5	0,0	18,0
2004	5,0	5,5	380,0	1,2	890,0	6,0	0,0	20,0
2003	7,0	5,2	760,0	1,1	1000,0	5,0	0,0	24,0
2002	10,0	4,8	180,0	1,0	820,0	3,0	0,0	26,0

Com relação à matéria orgânica, os resultados obtidos no ano de 2006 demonstram que existe uma tendência de aumento do seu teor com o passar dos anos, à exceção do primeiro para o segundo ano. O levantamento de 2005 mostrou que o teor de matéria orgânica era o mesmo para o plantio de 2004. Já no levantamento realizado no ano de 2006, os valores observados no plantio de 2005 foram um pouco superiores ao do plantio de 2004. Isto mostra que existe realmente um decréscimo inicial do teor de matéria orgânica e, posteriormente, com o passar do tempo há uma tendência de elevação do seus teores. Este fato pode ser explicado devido o Fosfogesso ainda não ter se estruturado, portanto não houve lixiviação orgânica para o interior do horizonte. Deve-se ressaltar que, a reposição desta matéria orgânica ainda não se consolidou, tendo em vista que a grande fornecedora desta é a leguminosa, que apresenta fácil decomposição. A partir do domínio das gramíneas com alta relação de carbono/nitrogênio, portanto de difícil decomposição, a tendência será o aumento dos teores orgânicos. Os resultados deste comportamento da matéria orgânica pode ser vista na Figura 5.16.

**Figura 5.16** – Variação dos teores de matéria orgânica ao longo do tempo

Os resultados obtidos em relação ao pH foram confirmados pelo levantamento de 2005, podendo ser verificada na Figura 5.17. Há uma redução do pH ao longo dos anos, e um aumento da acidez potencial, indicando a necessidade de se fazer calagens de manutenção.

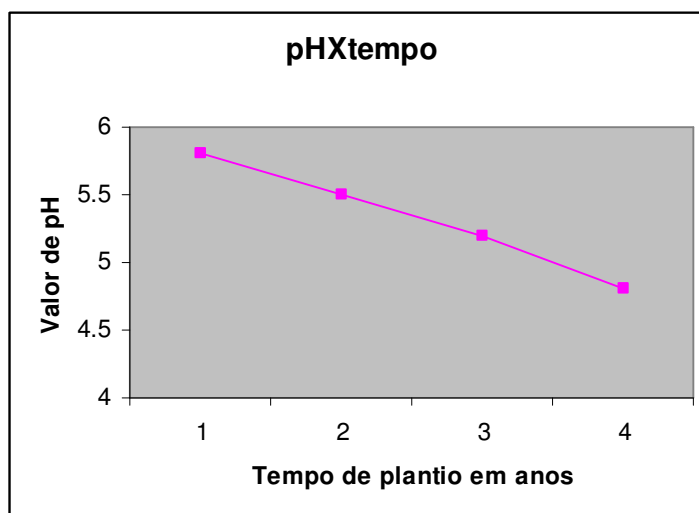


Figura 5.17 – Variação do pH ao longo do tempo

Com relação ao magnésio, os resultados do levantamento de 2006 permitiram melhor análise de sua tendência, mostrando uma redução dos teores deste elemento à medida em que os plantios ficam mais velhos, como pode ser verificado na Figura 5.18. Este fato pode ser atribuído a redução do efeito do calcário ao longo do tempo e ao consumo deste nutriente pelas plantas. Isto reforça a necessidade de uma calagem de cobertura, pois, além de promover a redução do pH, como já visto anteriormente, também forneceria ao substrato a quantidade necessária de magnésio para suprir as plantas ao longo do tempo.

Resultados semelhantes foram observados com relação ao potássio, Figura 5.19, pois como o Fosfogesso é pobre neste elemento na sua condição natural, a única fonte de potássio fornecida para as plantas foram as adubações de plantio e cobertura. A perda de potássio é mais significativa que a do magnésio, pois, além do consumo pelas plantas, este elemento é facilmente lixiviado, o que torna sua permanência no substrato mais difícil. Neste caso, a adubação em cobertura seria a única forma de aumentar os teores deste elemento.

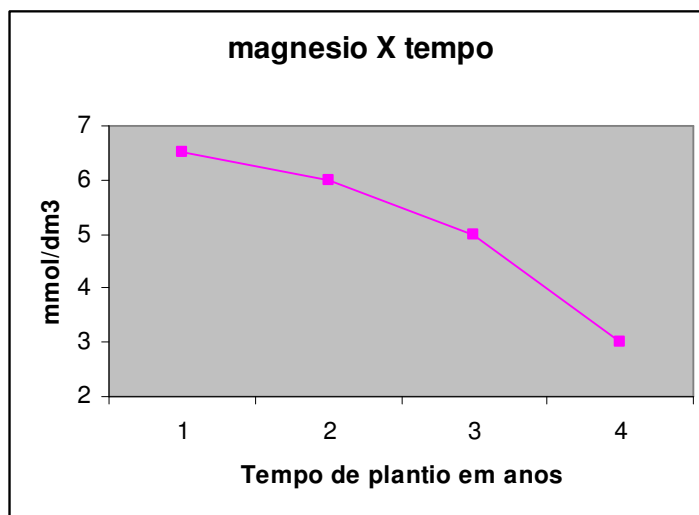


Figura 5.18 – Variação dos teores de magnésio ao longo do tempo

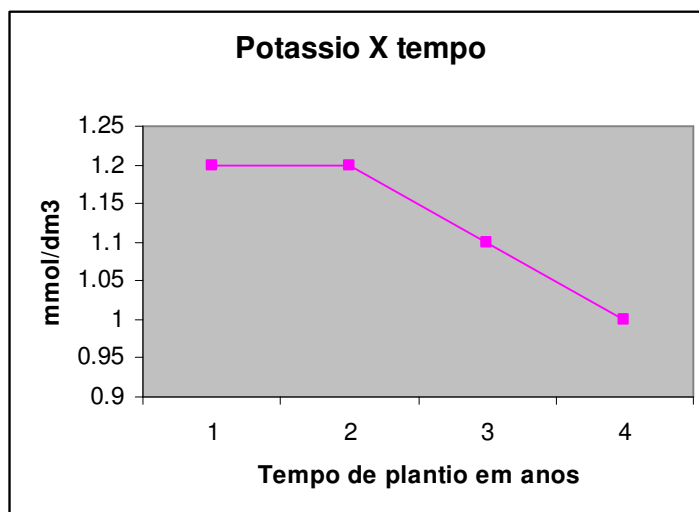


Figura 5.19 – Variação dos teores de potássio ao longo do tempo

O nitrogênio foi o único elemento não analisado neste processo, tendo em vista que a análise de fertilidade do solo não inclui este elemento, por não refletir a realidade de disponibilidade do mesmo para as plantas. A vegetação analisada, principalmente dos plantios realizados há mais de um ano, apresentava um amarelado típico de deficiência de nitrogênio, o que indica a falta deste no substrato. Epstein (1975), ao descrever o ciclo deste elemento no solo afirma que ele é bastante instável, havendo perda por lixiviação e volatilização. Uma das formas de fixação do nitrogênio, seria pela nodulação das leguminosas associadas às bactérias do tipo *Rizobium*, porém estas não existem no Fosfogesso. Além disso, sua inoculação seria difícil, uma vez que cada cepa de bactéria convive com uma determinada espécie de leguminosa.

Portanto, a única fonte de fornecimento de nitrogênio para as plantas neste caso, é via adubação de cobertura.

As áreas de falha, com exceção do plantio no ano de 2003, mostraram que o maior impeditivo de não haver vegetação nestes locais é o baixo pH e a alta acidez potencial. Estas áreas apresentaram valores de pH mais baixos que o Fosfogesso original, analisado durante o diagnóstico da pilha. Este fato confirma que as áreas de falha vem sendo alimentadas constantemente com a água provinda do interior da pilha ou pelos canais de pé dos taludes. O plantio de 2003 foi o que apresentou mais falhas devido à evaporação de água ácida. Este fenômeno parece atingir a parte foliar das plantas, inviabilizando seu crescimento, sem no entanto interferir na composição do Fosfogesso modificado. Os resultados das análises retiradas nas áreas de falha, podem ser vistos na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Análise de fertilidade das trincheiras em área de falha

<i>Plantio</i>	<i>M.O.</i>	<i>pH</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>H+Al</i>
	%		Mg/ Dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³	mmol/ dm ³
2002	4,0	2,7	140,0	1,1	860,0	3,0	76,0	216,0
2003	8,0	5,3	90,0	0,8	920,0	1,0	0,0	15,0
2005	8,0	2,3	320,0	1,6	960,0	9,0	126,5	558,0

6 CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho foi mostrar o processo de obtenção de uma cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso situada no Complexo Industrial de Uberaba, pertencente a FOSFERTIL, com a finalidade de redução dos impactos ambientais proporcionados pela mesma, notadamente o impacto visual, bem como torná-la mais resistente a processos erosivos e prevenir a emissão de particulados.

Consistiu ainda deste objetivo uma análise avaliativa da metodologia adotada, verificando os diversos parâmetros relativos à vegetação criada e ao substrato formado ao longo dos anos, de forma a permitir sua aplicação em pilhas semelhantes, bem como nos demais aterros industriais existentes.

Pode-se concluir que a primeira parte deste objetivo foi alcançado, uma vez que com sete anos de trabalho, a metodologia foi desenvolvida e testada com a realização de quatro plantios definitivos sobre a pilha, que ocupam hoje um área de 210.000 m², apresentando menos de 2% de falhas, e que recebeu a aprovação de todos os órgãos responsáveis pela fiscalização do cumprimento das obrigações da empresa perante ao Ministério Público e o órgão ambiental.

A análise da metodologia adotada, verificando todos os passos deste processo, que vem dar a validade do caráter técnico-científico da mesma, foi fruto de dois anos do trabalho deste autor durante o curso de mestrado. Algumas considerações sobre estas análises são descritas a seguir.

6.1 – Sobre o processo de cobertura vegetal

Na revisão de literatura realizada, verificou-se que a metodologia adotada no presente trabalho para obtenção da cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso seguiu os procedimentos de todos os autores que fizeram trabalhos semelhantes até então, ou seja, foram testadas diversas formas de correção do Fosfogesso para que o mesmo pudesse dar sustentabilidade às plantas, bem como testado o tipo de vegetação resistente a este processo. Deve-se salientar que os trabalhos publicados até então, têm como base a metodologia desenvolvida por Richardson (1997), muito semelhante em todos os aspectos à adotada na presente dissertação.

No entanto, Richardson (1977) descartou a implantação de cobertura vegetal em pilhas ativas, o que o esta dissertação demonstrou ser possível.

Verificou-se que com a análise estatística realizada todos os procedimentos de correção do Fosfogesso responderam de forma positiva, proporcionando um crescimento de vegetação, principalmente durante o primeiro ciclo vegetativo, e que quanto mais complexa for esta correção, melhor será a resposta da vegetação. No entanto, esta correção tem de ter um limite que proporcione a cobertura vegetal dentro de custos compatíveis, utilizando preferencialmente recursos existentes próximo ao local de desenvolvimento da cobertura vegetal.

Conclui-se ainda que a realização do diagnóstico da área a ser recuperada é fundamental para identificar os principais impedimentos existentes e trabalhar na correção destes, para que se possa implantar com sucesso a cobertura vegetal. Em muito dos casos, será necessária a realização de diversos testes antes de determinar a metodologia a ser empregada, para superar os fatores impeditivos presentes.

6.2 –Sobre a vegetação

A avaliação da vegetação implantada na pilha durante os 4 anos de plantios, permitiu a obtenção de diversos dados, que contribuíram definitivamente para este trabalho, principalmente no aspecto de mudança da vegetação ao longo do tempo. Houve a diminuição das espécies plantadas e a ocupação da área com espécies invasoras, permitindo que o ciclo sucessional fosse um reflexo do processo de cobertura vegetal definitivo.

Deve-se salientar que o plantio inicial envolveu um coquetel de sementes de herbáceas, que contava a partir do plantio de 2004 com pelo menos três gêneros de plantas diferentes, que tiveram determinada precocidade na ocupação da área, mas que foram aos poucos sendo substituídas por outras espécies, até a condição de prevalecer somente as espécies invasoras, como é o caso do plantio de 2002.

Este processo de substituição de espécies ao longo do tempo de plantio indica que a partir do momento em que se melhora a condição do Fosfogesso, permitindo a sustentação de plantas, irá prevalecer a vegetação mais adaptada às condições do local. Verificou-se que as espécies inicialmente plantadas foram as primeiras a ocuparem a área, tendo em vista a grande

quantidade de material propagativo (Sementes) disponíveis no momento e que a cobertura vegetal teve dominâncias alternadas, de acordo com a precocidade de cada espécie plantada.

Posteriormente, as espécies da vizinhança tiveram preferência sobre as plantadas, uma vez que a quantidade de material propagativo gerado pela vegetação próxima à pilha é maior que a produzida pelas espécies plantadas. Além disto, verificou-se que as espécies invasoras são mais adaptadas a região e possuem maior porte do que as introduzidas, o que acaba modificando o processo de ocupação da área.

Neste aspecto foi importante observar a dominância das Samambaias em determinadas áreas do plantio de 2002, indicando outro processo de sucessão vegetal, desta vez ao inverso do verificado em Cubatão. Ainda não pode ser comprovada a razão desta ocupação, mas tudo indica que é devido à redução dos nutrientes e aumento da acidez verificada no substrato com o passar do tempo.

Conclui-se finalmente, que as áreas vegetadas, apesar da existência de falhas, proporcionaram uma cobertura vegetal que ocupam mais de 98% da área plantada, superando as expectativas obtidas nos testes e que com a entrada das espécies invasoras mais adaptadas à região, não se verificou mais o efeito visual do recrudescimento vegetativo, mantendo a pilha sempre verde durante o ano todo e alcançando o objetivo da redução do impacto visual, considerado de grande magnitude.

6.3 – Sobre o substrato

A alteração do substrato do Fosfogesso foi o fator determinante para obtenção dos objetivos do presente trabalho, pois todos os impedimentos verificados na pilha, de natureza química e física, tinham relação direta com um substrato que impedia o crescimento de plantas. Os processos de manejo utilizados para o plantio inicial foram muito importantes para a obtenção da cobertura vegetal, mas as mudanças provocadas pela cobertura ao longo do tempo neste substrato foram fundamentais para a perpetuação desta.

Pode-se concluir que a reestruturação do Fosfogesso, que anteriormente era de estruturas laminares colmatadas, para estruturas granulares e em blocos sub-angulares, foi um dos aspectos importantes, que permitiu a aeração das raízes, a manutenção de uma umidade adequada, além de ter evitado a presença de água ácida no perfil.

Outra modificação importante no substrato foi a criação de um horizonte orgânico, rico em colóides, que determinou uma condição de aumento da capacidade de troca catiônica, permitindo que o substrato desenvolvesse o efeito tampão e a planta pudesse obter as trocas de nutriente com a micela do substrato, independente da solução do Fosfogesso.

As perdas de nutrientes verificadas ao longo do tempo, bem como o aumento da acidez potencial, foram indicativos preocupantes no tocante à sustentabilidade da vegetação ao longo do tempo, mas que podem ser corrigidas com a prática de calagem e adubação em cobertura, que não necessariamente tem de ser realizada infinitamente, uma vez que se espera um equilíbrio desta situação, com o aumento da reciclagem da matéria orgânica.

A atividade biológica verificada no substrato com a presença de formigas pode ser um outro bom indicador, uma vez que o retrabalhamento biológico tende a potencializar o processo de estruturação, bem a aprofundar cada vez mais o horizonte orgânico formado superficialmente.

4 – RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

O trabalho de cobertura vegetal da pilha de Fosfogesso sempre teve como objetivo a recuperação de uma área degradada ocasionada pelo depósito de um sub-produto industrial, tendo seguido alguns procedimentos preconizados no processo de recuperação de áreas. No entanto tendo em vista as diversas especificidades do meio, este trabalho demandou procedimentos para o atendimento de seus objetivos, que fazem parte das preocupações de técnicos que trabalham com cobertura vegetal em áreas degradadas, principalmente em ambientes de grande hostilidade para o crescimento das plantas.

Neste capítulo, pretende-se elencar diversas recomendações importantes, não só para implantação da cobertura vegetal em outras pilhas de Fosfogesso existentes Aquino país ou até mesmo fora , mas também alertar que diversos aterros industriais que hoje constituem problemas de natureza semelhantes a estas pilhas podem ser tratados com metodologias semelhantes.

As pilhas de Fosfogesso, além dos impactos de natureza visual, possuem outros problemas que são tão importantes ou até mesmo maiores, que estão relacionados com a coleta das águas residuárias que advêm do processo de transporte do Fosfogesso para pilha, bem como das águas de chuva que caem sobre ela e se contaminam, precisando ser coletadas e tratadas. Este fato determina a necessidade de se fazer o tratamento destas águas, mesmo após o encerramento da deposição de Fosfogesso na pilha, obrigando a empresa a conviver com este passivo ao longo do tempo.

Tendo em vista este problema, nos EUA já estão sendo feitas diversas experiências de descomissionamento destas pilhas sendo a cobertura vegetal uma grande aliada deste processo. Desta forma, uma das principais sugestões deste trabalho consiste na continuidade de pesquisas, visando a utilização do processo de cobertura vegetal, na avaliação de estudos de balanço hídrico das pilhas de Fosfogesso, bem como em estudos da qualidade das águas do escoamento superficial provindo das áreas vegetadas. Neste mesmo contexto deve-se avaliar o comportamento hidrológico, de forma a verificar se após a retirada das lagoas situadas no topo da pilha, bem como a carga de água do processo, a mesma continuará a ter efluentes a serem tratados, ou se são capazes de reter toda água de chuva que cai sobre elas.

Outra recomendação consiste na necessidade de fazer avaliação do processo de recuperação de áreas degradadas existentes no país, pois nos inúmeros trabalhos consultados sobre este assunto, não se verificou nenhum trabalho onde haja preocupação com o desenvolvimento do substrato ou da vegetação implantada. Isto deixa os técnicos desta área sem dados que possam balizar o sucesso ou não dos seus trabalhos. Desta forma, sugere-se que na implantação de cobertura vegetal em áreas degradadas seja descrito o comportamento da vegetação ao longo do tempo de existência da mesma e os aspectos relevantes que surgiram após o plantio. É importante também descrever o comportamento do substrato, e suas alterações observadas ao longo do tempo após a recuperação de uma área.

Com relação específica ao trabalho da cobertura vegetal na pilha de Fosfogesso (caso em estudo), cabe ainda ressaltar que algumas recomendações devam ser feitas, visando a complementação desta pesquisa. Em primeiro lugar deve-se iniciar o mais breve possível a prática de adubações anuais em cobertura, com fertilizantes ricos em nitrogênio e potássio, visando suprir o substrato com estes nutrientes. Da mesma forma, deve-se iniciar a calagem nas áreas vegetadas com calcário dolomítico, não sendo necessário o uso de calcário calcinado, de forma a corrigir o pH que vem demonstrando tendência de redução, bem como suprir o substrato com magnésio.

Finalmente, recomenda-se uma verificação detalhada da fauna existente hoje na pilha de Fosfogesso, visando complementar os estudos de cobertura vegetal e possibilitando a integração deste novo ambiente criado, com o meio ambiente da vizinhança da pilha, mostrando, inclusive, o grau de endemismo existente.

Como sugestões para a pesquisas futuras, no caso específico desta pilha de Fosfogesso, poder-se-ia verificar a possibilidade de realização das seguintes linhas de investigação:

- Análise dos efeitos da cobertura vegetal, sobre a questão físico-química do encrostamento superficial, identificando as reais causas de sua não ocorrência sob a vegetação.
- Verificação das principais causas da redução da exudação de água ácida superficial após a implantação da cobertura vegetal.

- Análise comparativa da estabilidade da pilha de Fosfogesso, considerando-a com cobertura vegetal e com ausência da mesma, tendo em vista que a presença da cobertura o aumenta a infiltração de água e elimina o encrostamento superficial, alterando as propriedades da pilha.

8 - REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. ABNT 2004, 71p.

ATAÍDE, C., Pesquisas científicas sobre destinação de Fosfogesso – Uma revisão bibliográfica, SEMINÁRIO INTERNO SOBRE FOSFOGESSO, Fosfertil, Uberaba, 2005.

BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*, 7ª edição, editora Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1989 898p.

BERETKA, J. Properties and utilization of by product Gypsum in Australia, THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHOGYPSUM, FIRP, Flórida, pag 565 – 582 1980.

CARMICHAEL, J. B., Worldwide production and utilization of phosphogypsum, SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF PHOSPHOGYPSUM Volume 1, FIRP, 1998, pag 105 a 111.

CHANG, W.F; CHIN, D.A., Phosphogypsum for secondary road construction, University of Miami, 1989, 181p.

COLLINGS R. K., Phosphogypisum in Canada, THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHOGYPSUM, FIRP, Flórida, 1980, pag 583 – 596.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas gerais*, Edição Viçosa MG, 1999, 359p.

CUNHA, M. Comercialização de Gesso no Brasil, SEMINÁRIO INTERNO SOBRE FOSFOGESSO, Fosfertil, Uberaba, 2005.

DELVIN, R.M., *Fisiologia Vegetal*, Editora Omega, Barcelona, 1976, 517 p.

DOORIS, P.M.; MARTIN, D.F.; EMERY, S.; SUMPTER, D. E.; DERBY, M.; GALLARDO, M.T.; MARTIN, B.B. A comparative analysis of environmental impacts: Phosphogypsum versus borrow pits. FIRP, University of South Florida, 2000, 101p.

EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos: 3ª Aproximação*, Rio de Janeiro, 1988, 105 p.

EMBRAPA, Centro nacional de pesquisas ambientais, Resíduos sólidos legislação, site <http://www.cnpsa.embrapa.br/residuos/normatiz.html>, 2006.

EPSTEIN, E – *Nutrição mineral das plantas*, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975 314 p.

FREITAS, B. J. Disposição de Fosfogesso e seus impactos ambientais, II SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, IBRAFOS, Uberaba, 1986, págs 9 a 40.

FULEIHAM, N. F.; INGRA, S.T. Hidrologic evaluation of final cover system alternative for clousure of Phosphogypsum stacks, FIRP, Publication 03-126-212, Volume 1, 345 p 2005.

GARANGANI, C. Utilização de Fosfogesso em base e sub-base e em aterros em geral, SEMINÁRIO INTERNO SOBRE FOSFOGESSO, Fosfertil, Uberaba, 2005.

GOMES, F.P. *Curso de Estatística Experimental* 12ª Edição , Piracicaba, 1987.

LLOYD, G. M. Phosphogypsum a review of the Florida Institute Research Program, FIRP, 1996, 16p.

MALAVOLTA, E. Gesso Agrícola no ambiente e na nutrição de plantas – perguntas e respostas, II SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, IBRAFOS, Uberaba, 1992, págs 41 a 66.

MAY A.; SWEENEY J. W. Assesment of environmental impact associeted with phosphogypsum, THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHOGYPSUM, FIRP, Flórida, 1980, pag 415 – 442.

MIYAMOTO M., Phosphogypsum utilization in Japan, THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHOGYPSUM, FIRP, Flórida, 1980, pag 535 - 564.

MORRIS, E O. , Cargill Sets a Gypsum Standard, Fertilizer International N° 362, January/February, 1988, pag 61-64.

PATELF, S.K; ERICSON, W.A.; KELLEY, M.P. Phosphogypsum stack clousure: Evaluation of Phosphogypsum as alternat final cover , FIRP, Publication 03-125-195, 2002, 122p.

PEDOGEO CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA, Relatórios de acompanhamento da cobertura vegetal nas pilhas de gesso, Relatórios Internos, anos 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006

PETRISOR, I.G.; KOMNITSAS, K.; LAZAR, I.; VOICU, A.; DOBROTA, S.; STEFANESCU, M.; KUPERBERG, M. Vegetative cover for Phosphogypsumm dumps- A România Field study, 2001 INTERNATIONAL COTAIMENT & REMEDIATION TECHNOLOGY CONFERENCE AND EXIBITION, Orlando, Florida, 2001, 3p.

PINTO M. M., Recuperação de áreas degradadas, Apostila do curso de Pós graduação em Gestão Ambiental dos Municípios, IETEC, 1982, 62p.

RICRARDSON, S. D. Establishing vegetation cover on Phosphogypsum in Florida, FIRP, Publication 01-086-116, 1977, 61p.

ROSNICK, R. J., Phosphogypsum Regulated By The U.S. Environmental Protection Agency, SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE USOS DE FOSFOGESSO, Belo Horizonte, 2006.

ROSSETO, H Métodos de processamento de Fosfogesso em corpos de alta resistência mecânica, WORKSHOP – DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA O APROVEITAMENTO DO FOSFOGESSO, Belo Horizonte, 2005

SILVA, N.C. Aplicação do Fosfogesso na construção civil, WORKSHOP – DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA O APROVEITAMENTO DO FOSFOGESSO, Belo Horizonte, 2005

SMITH, P., Gypsum – a world problem? SEMINÁRIO INTERNO DE FOSFOGESSO, Fosfertil, 2005.

SMITH, P., Process and routes for phosphoric acid production SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE USOS DE FOSFOGESSO, Belo Horizonte, 2006.

SUMNER, M. E., Uso atual do Gesso no mundo em solos ácidos, II SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, IBRAFOS, Uberaba , 1992, págs 9 a 40.

TRAXLER,G. The Economic Benefit of Phosphogypsum use in agriculture in the Southeastern United States FIRP, 1996, 29p.

TOMAZ, C. M. The production of Phosphoric Acid and Phosphogypsum by Brazilian Industries. SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE USOS DE FOSFOGESSO, Belo Horizonte, 2006

WISSA, A. E. Z. Gypsum Stacking Technology, 1977 ANNUAL TECHNICAL MEETING, Central Florida and Peninsular Sections, American Society of Chemical Engineers, Clearwater, Florida, May 1977 .

WISSA, A. E. Z.; FULEIHAM, N. F. Design and Reclamation of Phosphogypsum Disposal Sites, Advances in Phosphate Fertilizer Technology, AIChE Symposium Series 292, Volume 89, 1993.