



INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA DA E.S.A.L.Q. - USP

SÉRIE TÉCNICA

UTILIZAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO
NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Utilização de Espécies Florestais de Rápido Crescimento na Recuperação de Áreas Degradadas

SUMÁRIO

Resumo
Summary

1. A floresta implantada como vegetação ideal na recuperação de áreas degradadas
2. A exploração do xisto e suas implicações ecológicas
3. Pesquisas desenvolvidas pelo IPEF – Depto. de Silvicultura da ESALQ/USP, em convênio com a PETROBRÁS, na recuperação do solo alterado em áreas de mineração do xisto, em São Mateus do Sul – PR
 - 3.1. Seleção prévia de espécies potencialmente aptas para o crescimento sobre o solo alterado
 - 3.2. Experimentos de campo: cultivo de espécies florestais sobre o solo alterado
 - 3.3. Experimentos de campo: avaliação do efeito da calagem e da adubação sobre o crescimento de essências florestais em solo alterado
4. Potencial da *Mimosa scabrella* para melhorar a fertilidade do solo alterado através da deposição do folheto
5. Resultados preliminares referentes ao crescimento da erva-mate e de outras essências florestais nativas sobre o solo alterado
6. Referências Bibliográficas

Utilização de Espécies Florestais de Rápido Crescimento na Recuperação de Áreas Degradadas

Fábio Poggiani*
João Walter Simões**
José Maria de Arruda Mendes Filho***
Ana Luisa de Moraes***

RESUMO

As pesquisas relatadas neste trabalho evidenciam o grande potencial que as espécies de rápido crescimento apresentam na recuperação de solos degradados.

A exploração do xisto betuminoso vem sendo considerada como uma alternativa energética das mais promissoras. Entretanto, o processo de lavra a céu aberto acarreta certos problemas ambientais que podem ser minimizados desde que algumas medidas de proteção ao solo sejam postas em prática.

O IPEF em convênio com o Depto. de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Piracicaba – SP) vem desenvolvendo, juntamente com a PETROBRÁS, pesquisas no sentido de recuperar o solo alterado pela exploração do xisto betuminoso, através da cobertura vegetal com espécies de rápido crescimento, dentre as quais destacam-se: *Mimosa scabrella* (bracatinga), *Eucalyptus viminalis* e *Pinus taeda*.

As árvores em alguns meses recobrem o solo e minimizam o efeito do intemperismo. Além disso, depositam elevadas quantidades de folheto rico em matéria orgânica e nutrientes, melhorando a fertilidade do solo.

A adaptação das espécies florestais ao solo alterado e o efeito do xisto retornado sobre o sistema radicular das plantas são testados previamente sob condições controladas, em casa de vegetação, e somente após a obtenção de respostas positivas as árvores são plantadas em condições normais de campo, na região de São Mateus do Sul (PR), onde se situa a área de mineração e a usina de processamento do xisto.

Enfoque especial vem sendo dado à erva-mate como uma espécie potencial para ser plantada em consorciação com a bracaatinga.

A utilização principalmente das espécies florestais nativas dentro de critérios ecológicos e silviculturais bem definidos poderá devolver à região suas características paisagísticas e os principais recursos florestais.

SUMMARY

Fast Growing Trees Species Utilization to Revegetate Surface of Mined Areas

Oil scarcity and the increased demand for energy in Brazil lead to a future utilization of oil shale.

Oil shale lands occur mainly in Irati geological formation, however at the present only an experimental 64,5 km² area located at São Mateus do Sul (Paraná State) is involved

* Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP

** IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

*** Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal – ESALQ/USP

in a semi-commercial program of oil shale processement by PETROBRAS. After oil extraction, retorted shale is returned to the mined area and covered by a layer of subsoil.

Studies on ecological problems concerning the revegetation of the area and the root growth of the trees planted on he subsoil, covering the retorting shale, are being conducted by IPEF at the FORESTRY DEPARTMENT OF Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Piracicaba-SP) in cooperation with PETROBRAS (Brazilian Oil Co.). Field trials are being performed at São Mateus do Sul (Paraná State) where the cooperators provide processed oil shale and the experimental areas.

To observe the performance of individual species planted on this area, several tests are being conducted on pure subsoil, and on subsoil + liming + fertilization with NPK.

Good growth and survival were observed for: *Eucalyptus viminalis*, *Pinus taeda* and *Mimosa scabrella*, a fast growing tree species whose performance is usually good on poor soil s with low pH and hight aluminium level. *Rhizobium* nodules were found in the roots of this species. *M. scabrella* being a legume, adds nitrogen to the soil. Preliminar data collected in a closed stand of *M. scabrella* indicate that a large amount of organic matter is deposited on the soil. Leaf fall adds to the flour around 90 kg/ha per year of nitrogen.

At the present, several other tree species are growing under green house conditions on the soil samples, coming from the mined areas of São Mateus do Sul, to evaluate their growth performance and adaptability to fertility and hight toxicity.

Ilex paraguariensis, a shade indigenous tree species, will a 150 be observed to evaluate its growth performance and potential for leaves product1on which are usuaily collected to prepare a special kind of tea (matte).

1. A FLORESTA IMPLANTADA COMO VEGETAÇÃO IDEAL NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Quando o solo de uma determinada área é por longo tempo utilizado com finalidades agro-pastoris ou é subitamente alterado por um processo de mineração, a qualidade do “site” fica grandemente prejudicada, sendo que sua potencialidade biológica, em termos de produtividade, será prejudicada por períodos mais ou menos prolongados.

O processo de recobrimento vegetal do solo através da vegetação natural (sucessão ecológica) é normalmente muito lento, sendo eu as espécies que ali se instalam nem sempre são desejáveis do ponto de vista agrícola ou silvicultural. É conveniente, portanto, que a vegetação que irá recobrir o solo degradado tenha requisitos favoráveis para melhorar mais prontamente as características químicas e físicas do solo. Neste processo o homem pode intervir, colaborando com a natureza e apressando o processo de recobrimento do solo através do plantio de árvores de rápido crescimento. O rápido recobrimento do solo pelas copas das árvores juntamente com a vasta difusão do sistema radicular da floresta implantada é uma garantia de proteção contra a erosão. Além disso, a deposição constante de folhas e outros detritos vegetais é a forma mais eficaz para restituir ao solo sua fertilidade.

Do ponto de vista econômico, as árvores a serem utilizadas poderão ser previamente escolhidas de acordo com as finalidades de sua utilização posterior. Conseqüentemente, poderá ser feito um planejamento ecológico mais adequado para uma utilização econômica posterior da floresta.

Nos últimos anos o Brasil vem buscando sua independência mineral e energética e conseqüentemente muitas áreas vêm sendo revolvidas e degradadas em processos de mineração. O abandono dessas áreas após a extração dos minérios representaria um sério prejuízo ecológico e econômico. Neste sentido, o Brasil carece de leis específicas sobre o assunto e desta maneira apenas algumas companhias mais responsáveis se preocupam com o destino do solo após a exploração dos minérios.

2. A EXPLORAÇÃO DO XISTO E SUAS IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS

De acordo com dados fornecidos pelo U.S. Geological Survey, as reservas de xisto do Brasil colocam-se em segundo lugar na escala mundial, totalizando uma disponibilidade de 800 bilhões de barris de óleo. Contudo, em nosso país, a exploração do xisto está ainda em fase experimental e até o presente foram estudados de modo sistemático apenas os depósitos de xisto do Vale do Paraíba e da Formação Irati.

Atualmente a PETROBRÁS vem desenvolvendo pesquisas intensivas em escala semi-industrial na região de São Mateus do Sul (PR), onde existe uma reserva de 64,5 km² com uma potencialidade de 560 milhões de barris de óleo. (MOREIRA, 1979). No Brasil, face à escassez de óleo combustível, cujo suprimento depende de importação e conseqüentemente saída de divisas do país, torna-se hoje viável economicamente a extração e utilização do xisto betuminoso.

Esta atividade, contudo, constitui um tipo de mineração a céu aberto, que apresenta diversos problemas de ordem ecológica já levantados, estudados e, em grande parte, solucionados em muitos países. Os diversos aspectos ecológicos da mineração a céu aberto foram amplamente enfocados no Congresso sobre Energia e Ecossistema, realizado na Universidade de Dakota, U.S.A. (WALI, 1978).

Uma das preocupações da PETROBRÁS consiste em desenvolver uma tecnologia de lavra do xisto betuminoso, que permita reduzir ao mínimo as principais formas de poluição atmosférica e hídrica. Ainda segundo *MOREIRA (1979)*, a água proveniente da retortagem do xisto apresenta como principais poluentes: fenóis, sulfetos e compostos nitrogenados. Contudo, os dados experimentais obtidos na usina piloto indicam que a utilização de uma lagoa de oxidação reduz a valores nulos ou apenas a traços os fenóis, os sulfetos e os compostos nitrogenados. A poluição atmosférica poderá ser, em grande parte, reduzida pela ação de um sistema de dessulfuração de gases. Finalmente, o xisto retortado, que pela própria natureza do material pode sofrer combustão espontânea, é devolvido à área de mineração e ali recoberto por uma camada de solo alterado (mistura de solo e subsolo) com altura aproximada de dois metros.

A mistura de solo e subsolo forma uma camada de proteção cuja estrutura é fortemente argilosa, de fertilidade extremamente baixa e com elevado teor de alumínio e acidez acentuada. Estas características tornam a camada de proteção do xisto com baixa potencialidade para a utilização imediata do solo, sendo indispensável, primeiramente, o desenvolvimento de várias atividades de caráter ecológico e silvicultural destinadas a uma recuperação prévia da camada superficial.

Nas diferentes partes do mundo onde se exploram os depósitos de xisto betuminoso, após a reposição do solo alterado sobre o xisto retortado, procura-se, da maneira mais rápida possível, recobrir a superfície do mesmo com algum tipo de vegetação, com o objetivo primordial de fixar as partículas, evitando-se a erosão intensa. Para esta finalidade são escolhidas plantas pioneiras de grande tolerância aos diversos fatores limitantes tais como: baixa fertilidade, déficit hídrico, toxidez provocada por certos elementos químicos, compactação do solo, salinidade elevada e baixo teor de matéria orgânica. Nos E.U.A. este processo de recobrir o solo com vegetação recebe o nome de “revegetation”, sendo que nos países mais adiantados constitui-se numa exigência das próprias entidades governamentais, cada vez mais preocupadas com a conservação do solo e com os problemas ambientais. Como exemplos pode-se citar o Serviço Florestal dos Estados Unidos, que mantém um setor especializado para promover a cobertura vegetal em áreas de mineração: SEAM – Surface Environment and Mining – o qual desenvolve pesquisas em convênio com diversas firmas de mineração (*SAXTON, 1979*). Outra entidade americana que atua intensivamente neste setor é a U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A.) com pesquisas orientadas na recuperação de solos submetidos à exploração do xisto nos Estados de Utah, Colorado e Wyoming. (*FRISCHKNECHT & FERGUSON, 1979*).

3. PESQUISAS DESENVOLVIDAS PELO IPEF – DEPTO. DE SILVICULTURA DA ESALQ/USP, EM CONVÊNIO COM A PETROBRÁS, NA RECUPERAÇÃO DO SOLO ALTERADO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DO XISTO – SÃO MATEUS DO SUL – PR.

3.1. Seleção prévia de espécies potencialmente aptas para o crescimento sobre o solo alterado

Com o objetivo de ganhar tempo e evitar operações de campo de remoção de solo e xisto retortado, que nesta fase experimental seriam bastante onerosas e fora da rotina de operação da usina de São Mateus, foi estabelecida uma sistemática destinada a testar, em condições de viveiro, a sobrevivência e o crescimento inicial de diversas espécies arbóreas

em solo alterado apoiado sobre uma camada de xisto retornado, simulando as condições futuras dos plantios na área a ser recuperada.

Para que uma espécie possa ser utilizada na recuperação do solo na região, necessita apresentar alguns requisitos indispensáveis dentre os quais podem ser ressaltados: adaptação climática, rápido crescimento e capacidade de sobreviver às condições edáficas peculiares de baixa fertilidade e presença de uma camada inferior de xisto retornado, componente este que libera diversos elementos tóxicos para o sistema radicular das plantas.

Neste sentido, a primeira pesquisa foi desenvolvida nas dependências do Depto. de Silvicultura da ESALQ/USP. (SIMÕES *et alii*, 1978). Inicialmente para este trabalho, foram escolhidas 2 essências exóticas, cuja adaptação ao clima da região estava bem comprovada: *Pinus taeda* e *Eucalyptus viminalis*. Foi escolhida também uma espécie nativa: *Mimosa scabrella* (bracaatinga) que, por ser uma leguminosa heliofita, parece ser apropriada para a finalidade desejada.

As plântulas foram produzidas em casa de vegetação do Depto. de Silvicultura, em Piracicaba – SP, e posteriormente transplantadas em caixas de plástico contendo solo alterado e xisto retornado. Esta fase pré experimental forneceu os dados indispensáveis para dar início ao primeiro experimento realizado em condições controladas e com várias repetições. Neste primeiro experimento as plântulas foram produzidas em sacos plásticos e depois transplantadas em manilhas de PVC de 80 cm de altura, onde foi possível estudar o crescimento da parte aérea e radicular até 3 meses para o *E. viminalis*, até 8 meses para o *P. taeda* e até 5 meses para a bracaatinga. Todas as manilhas foram preenchidas com solo alterado (mistura de solo e subsolo) e na base de cada recipiente foi colocada uma camada de xisto retornado para simular as condições de plantas em condições de campo.

Estas primeiras pesquisas, apesar de sua simplicidade, responderam às perguntas básicas quanto à potencialidade do solo alterado em relação ao crescimento das plantas, vantagens efetivas da calagem e da adubação sobre o crescimento da parte aérea e radicular e efeito do contato direto do xisto com o sistema radicular.

Os resultados já publicados na Revista IPEF nº 16 (SIMÕES *et alii*, 1978) permitiram as seguintes conclusões:

1. A implantação de espécies florestais em solo alterado pela mineração do xisto é possível e recomendável.
2. Dentre as espécies testadas o *E. viminalis* e, de forma particular, a *M. scabrella* (bracaatinga) apresentam um excelente potencial de utilização, tanto pela rápida cobertura do solo como pelo teor de nutrientes contidos nas folhas, o que permitirá enriquecer o solo com um maior volume de matéria orgânica rica em nutrientes.
3. O *E. viminalis* evidenciou-se como a essência de crescimento mais rápido, mesmo sem adubação.
4. A camada de xisto retornado colocada abaixo do solo alterado parece não ter afetado diretamente o sistema radicular, que ao entrar em contato com as partículas de xisto não mais se aprofunda, mas se expande no sentido horizontal.
5. As raízes das plântulas do *P. taeda* evidenciaram a simbiose de micorrizas e as raízes de bracaatinga apresentaram nódulos de *Rhizobium* de forma mais acentuada nas parcelas adubadas.

3.2. Experimentos de campo: cultivo de espécies florestais sobre o solo alterado.

Após a obtenção dos resultados preliminares em condições de viveiro, em 20 de dezembro de 1977, foi instalado em São Mateus do Sul (PR.) um experimento próximo à usina de processamento do xisto, com o objetivo de simular em sua totalidade as condições futuras de solo alterado, recoberto a camada de xisto retornado. Com esta finalidade, um espesso depósito de xisto retornado foi recoberto por uma camada de 2,5 metros de solo alterado (mistura de solo e subsolo). Antes do plantio, uma área de 800 m² foi submetida a aplicação de calcário a lanço, em seguida incorporado ao solo por meio de gradagem, até uma profundidade de 25-30 cm. Nesta área foram instaladas 7 parcelas experimentais, conforme especificado na tabela 1.

TABELA 1: Tratamentos experimentais referentes ao plantio em condições de campo.

Espécie	Calcário dolomítico (t/ha)	Adubação*
<i>P. taeda</i>	5	200 g/planta
<i>P. taeda</i>	3	100 g/planta
<i>E. viminalis</i>	5	200 g/planta
<i>E. viminalis</i>	3	100 g/planta
<i>M. scabrella</i>	3	100 g/planta (50 g/m ²)
<i>M. scabrella</i>	3	25 g/m ²
<i>M. scabrella</i>	-	-

* Adubação com a fórmula NPK-5:14:3

Foram testadas, portanto, diferentes doses de calcário e de fertilizantes NPK, sendo que para a bracaatinga, tendo em vista a rusticidade apresentada no experimento realizado em condições de viveiro, foi instalada também uma parcela experimental sem calagem e sem adubação.

É preciso ressaltar ainda que, no caso da bracaatinga, o plantio não foi efetuado por mudas preparadas em viveiro, sendo que as sementes previamente tratadas com ácido sulfúrico, em Piracicaba, foram semeadas a lanço e incorporadas ao solo com uma grade.

Para observar o comportamento posterior, em metade de cada parcela as plantas de bracaatinga foram desbastadas, e em outra metade foram deixadas crescer livremente em competição entre si.

Na figura 1, é apresentado um histograma de barras que evidencia a evolução do crescimento em altura para as 3 espécies, em diferentes idades e nos diferentes tratamentos.

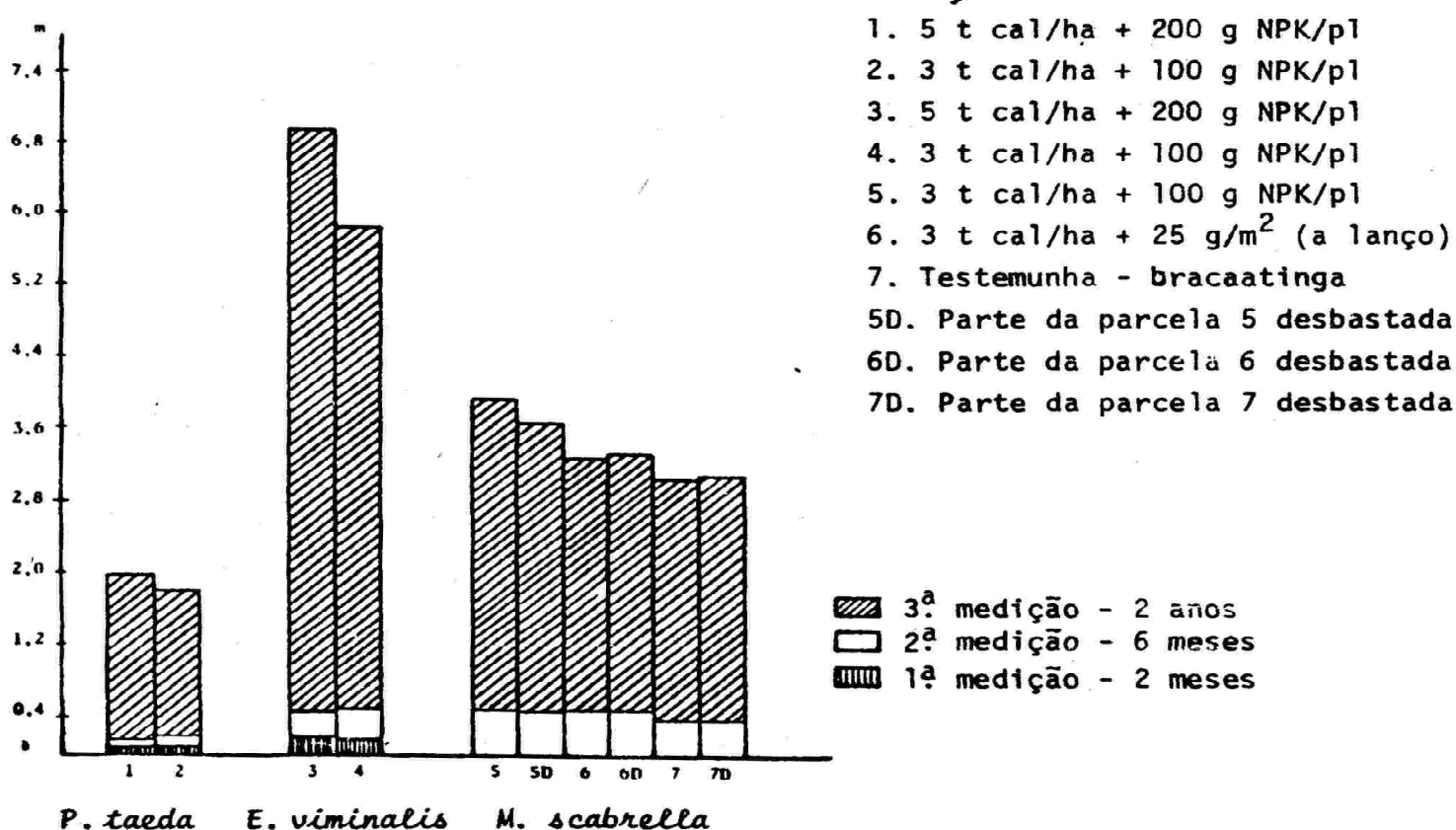
Verifica-se, após 2 anos de crescimento, que as árvores de eucaliptos apresentam a altura maior, com aproximadamente 7 metros. Os pinheiros são as espécies de menor crescimento. Estas apresentaram uma alongação quase insignificante durante o 1º ano, mas posteriormente tiveram um vigoroso desenvolvimento.

As parcelas de bracaatinga não apresentaram reação muito acentuada, tanto em relação à adubação como ao desbaste seletivo. De maneira geral, doses maiores de adubo propiciaram um desenvolvimento maior de todas as essências estudadas, contudo as diferenças foram pequenas. Este resultado mostra que não será necessária a aplicação de adubações pesadas. Um resultado realmente promissor, do ponto de vista ecológico e silvicultural, foi observado com as plantas da bracaatinga. Conforme o histograma da figura 1, verifica-se que o tratamento n° 7 (testemunha sem adubo) apresenta um crescimento bem

próximo ao das plantas adubadas com 50 e 25 g/m². Este resultado mostra o grande potencial desta espécie que, além de tudo, pode ser implantada a lanço, tendo-se apenas o simples cuidado de se tratar previamente as sementes para apressar o processo de quebra de dormência.

A análise do teor de nutrientes contidos nas folhas das diferentes espécies (tabela 2) também evidencia a melhor adaptação da bracaatinga às características do solo alterado, visto que quase todos os principais macro e micronutrientes se encontram em teores mais elevados nesta espécie. O elevado teor de nitrogênio nas folhas da bracaatinga parece ser devido à simbiose desta leguminosa com as bactérias fixadoras de nitrogênio, conforme já foi observado no experimento realizado nas condições de viveiro, em Piracicaba.

FIGURA 1: Crescimento em altura das três espécies nos diferentes tratamentos.



3.3. Experimentos de campo: avaliação do efeito da calagem e da adubação sobre o crescimento de essências florestais em solo alterado.

Este experimento tem como objetivo primordial observar separadamente os efeitos de diferentes níveis de calagem e de adubação sobre o crescimento das espécies

florestais: *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella*.* Por ocasião do preparo da área experimental em São Mateus do Sul, foi colocada uma camada menor de solo alterado, de aproximadamente 1 m, recobrando o xisto retortado. Assim sendo, será possível também avaliar mais rigorosamente, em condições de campo, o efeito do xisto sobre o sistema radicular das árvores e a evolução da situação nutricional das plantas face aos principais fatores limitantes.

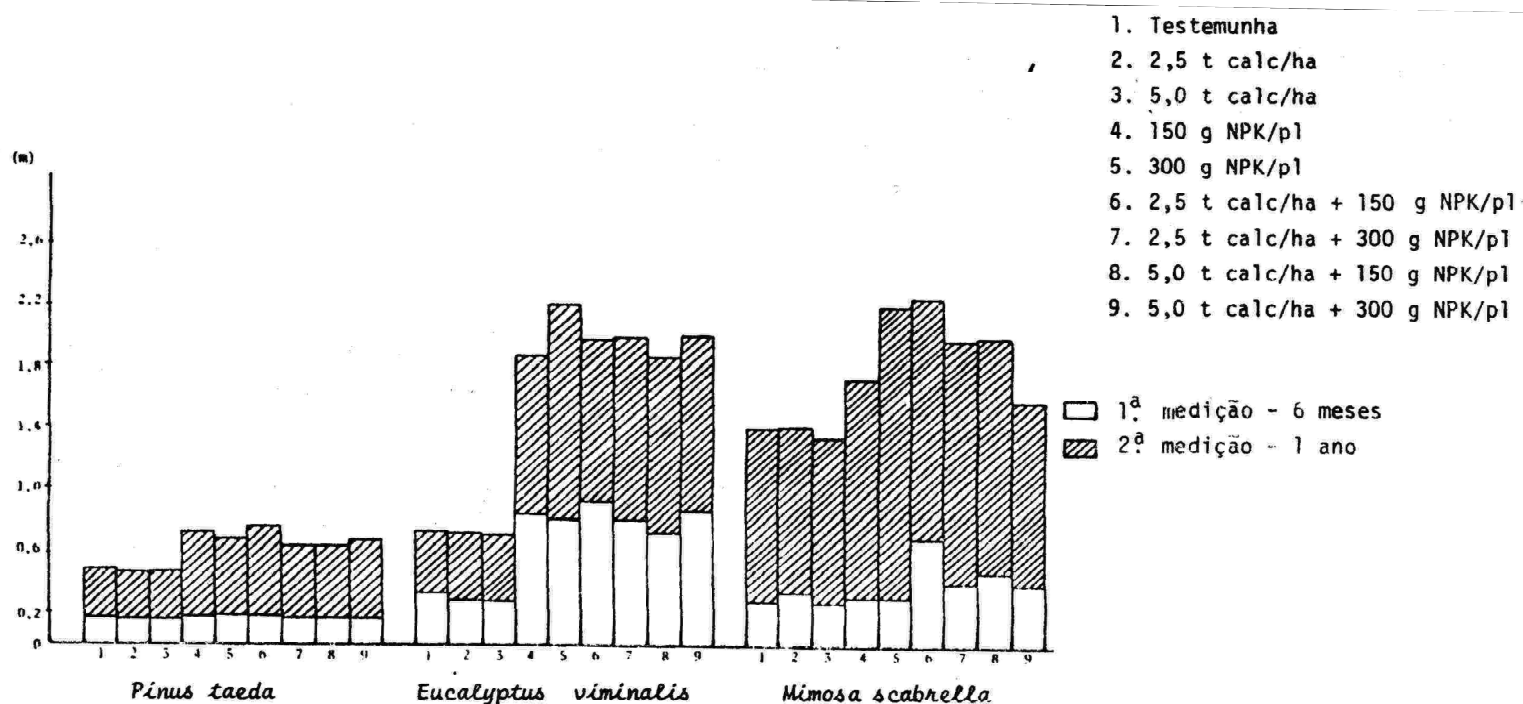
Os dados obtidos referentes à altura das árvores com um ano de idade, nos diferentes tratamentos, estão representados no histograma da figura 2.

Os resultados deixam bem evidente que a calagem não apresenta efeito significativo e conseqüentemente, no futuro, talvez possa ser omitida, tornando as operações de preparo do solo mais rápidas e econômicas.

A adubação com 150 g de NPK (5-14-3) por planta parece ser a mais adequada, visto que a utilização da dose de 300 g. por planta em nada beneficia o crescimento em altura das três espécies testadas.

As análises de nutrientes resumidas nas tabelas 3 e 4 indicam um melhor aproveitamento dos nutrientes por parte da bracaatinga, que apresenta em média teores mais elevados principalmente em relação ao nitrogênio. Um resultado interessante e que precisa ser assinalado é o elevado teor de manganês das folhas. Parece, entretanto, que este elemento em altas concentrações não tem provocado, até o momento, problemas fisiológicos prejudiciais.

FIGURA 2: Crescimento em altura das três espécies nos diferentes tratamentos.



* Parece não existir consenso definido entre os botânicos quanto à denominação da bracaatinga: sendo que em alguns trabalhos ela é citada como Mimosa scabrella Bentham e em outros Mimosa bracaatinga Hoehne.

TABELA 2: Resultados de análise foliar realizada nos tratamentos com *Pinus*, *Eucalyptus* e *bracatinga* do material coletado em novembro de 1979.

	<i>P. taeda</i> 5 t/ha 200 g/pl	<i>P. taeda</i> 3 t/ha 100 g/pl	<i>Bracaatinga</i> 3 t/ha 100 g/pl	<i>Bracaatinga</i> 3 t/ha 25 g/m ²	<i>Bracaatinga</i> (Testemunha) s/adubação	<i>E. viminalis</i> 5 t/ha 200 g/pl	<i>E. viminalis</i> 3 t/ha 100 g/pl
Porcentagem							
N	1,36	1,31	3,15	2,85	3,16	2,06	2,02
P	0,09	0,08	0,12	0,10	0,10	0,08	0,08
K	0,67	0,66	0,94	1,08	1,00	1,17	1,00
Ca	0,76	0,71	0,93	0,89	0,57	0,88	0,94
Mg	0,08	0,08	0,20	0,18	0,18	0,13	0,15
Partes por milhão							
Fe	750	750	490	385	430	252	242
Cu	5	5	5	5	5	5	5
Mn	2225	2225	850	800	725	1975	2050
Zn	82	80	15	15	15	17	15
Na	325	400	300	450	525	500	325

TABELA 3: Concentrações médias de elementos químicos nas folhas de *E. viminalis*, com um ano de idade.

Tratamentos	%					ppm	
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
1. Testemunha	2,0	0,07	1,00	0,78	0,13	1650	20
2. 2,5 t calc/ha	2,3	0,08	1,00	0,78	0,09	1550	20
3. 5,0 t calc/ha	1,9	0,08	0,95	0,95	0,28	1800	25
4. 150 g NPK/pl	1,5	0,07	0,88	0,95	0,13	1650	15
5. 300 g NPK/pl	1,4	0,07	1,03	1,00	0,12	1700	15
6. 2,5 t calc/ha + 150 g NPK/pl	1,5	0,08	0,95	0,93	0,15	1650	20
7. 5,0 t calc/ha + 300 g NPK/pl	1,5	0,08	0,93	0,55	0,13	1100	15
8. 5,0 t calc/ha + 150 g NPK/pl	1,4	0,06	0,80	0,68	0,15	1050	15
9. 5,0 t clac/ha + 300 g NPK/pl	1,5	0,09	0,93	0,75	0,20	1000	20

TABELA 4: Concentrações médias de elementos químicos nas folhas de *Mimosa scabrella* (bracaatinga), com um ano de idade.

Tratamentos	%					ppm	
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
1. Testemunha	2,56	0,09	1,04	0,33	0,15	950	20
2. 2,5 t calc/ha	2,64	0,09	0,97	0,41	0,15	550	15
3. 5,0 t calc/ha	2,68	0,09	1,05	0,62	0,19	800	20
4. 150 g NPK/pl	2,13	0,09	0,89	0,36	0,16	600	20
5. 300 g NPK/pl	2,63	0,11	1,01	0,48	0,20	650	20
6. 2,5 t calc/ha + 150 g NPK/pl	2,73	0,10	0,95	0,59	0,22	700	20
7. 5,0 t calc/ha + 300 g NPK/pl	2,36	0,11	0,96	0,51	0,21	500	15
8. 5,0 t calc/ha + 150 g NPK/pl	2,39	0,10	0,88	0,58	0,23	550	20
9. 5,0 t clac/ha + 300 g NPK/pl	2,24	0,11	0,86	0,60	0,22	400	20

A análise do sistema radicular efetuada em diversas árvores das três espécies evidenciou que o crescimento das raízes ocorre regularmente, mas com tendência a uma maior concentração nos primeiros 30 cm do solo. Este fato já era esperado, considerando-se o elevado teor de argila do solo alterado, o que acarreta uma menor aeração da camada mais profunda do perfil.

O acompanhamento contínuo do desenvolvimento do sistema radicular poderá fornecer dados mais concretos e de grande utilidade para os futuros experimentos.

4. POTENCIAL DA *Mimosa scabrella* PARA MELHORAR A FERTILIDADE DO SOLO ALTERADO ATRAVÉS DA ADIÇÃO DO FOLHEDO*

Quando à recuperação de solos através do processo da cobertura vegetal, uma das dificuldades inicialmente encontradas consiste na escolha das espécies apropriadas. Normalmente as espécies de rápido crescimento, cujo folheto recobre rapidamente o solo, apresentam baixos teores de nitrogênio em seus tecidos e conseqüentemente a relação C/N é bastante elevada. Este fato gera uma decomposição mais demorada da serrapilheira, sendo que a incorporação de nutrientes aos solos é geralmente muito lenta.

Neste sentido os técnicos responsáveis pela reposição da cobertura vegetal em solos de mineração utilizam, quando possível, espécies arbóreas ou arbustivas pertencentes à família das leguminosas, que apresentam a peculiaridade de fixar, através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, o nitrogênio livre do ar. A simbiose ocorre nos nódulos situados nas raízes mais superficiais das plantas. Quando a bactéria da simbiose não existe previamente no solo a ser plantado, deve ser introduzida através de inóculos específicos semeados no solo junto às raízes.

Normalmente, bons resultados têm sido alcançados nas áreas de mineração dos Estados Unidos com a utilização da *Robinia pseudoacacia*, leguminosa eficiente na fixação do N₂ e especialmente importante, visto que o nitrogênio é um elemento primário usualmente deficiente nas áreas formadas por solos alterados de mineração (BROWN, 1962).

De acordo com BURRIS (1976), o processo de fixação simbiótica do nitrogênio ocorre graças a uma enzima complexa chamada nitrogenase, que reduz o N₂ do ar através

* Folheto – acúmulo de folhas sobre o solo

de várias etapas, combinando-o com o hidrogênio e formando o NH_3 que, por sua vez, é combinado com ácidos orgânicos para formar amino-ácidos *KRAMER*, (1979).

Como conseqüência da formação do folheto, o nitrogênio é incorporado ao solo. A contribuição de nitrogênio por parte das leguminosas é de importância vital para manter a produtividade do solo por longos períodos e para tornar viável o plantio posterior de outras espécies florestais ou agrícolas.

Face ao interesse mundial em relação à potencialidade das leguminosas, principalmente para os países tropicais, a Academia Nacional de Ciências dos E.U.A. publicou um livro com o título: Tropical Legumes: Resources for the Future (National Academy of Science, 1979).

A bracaatinga – *Mimosa scabrella* – consta entre as espécies arbóreas potencialmente indicadas para regiões sub-tropicais, sendo considerada uma espécie de rápido crescimento.

Neste sentido, alguns ensaios vêm sendo conduzidos no Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP, com a finalidade de estudar, em condições controladas, o efeito da inoculação do *Rhizobium* sobre o crescimento e o teor de nitrogênio e dos demais nutrientes contidos nas folhas da bracaatinga.

Os resultados preliminares são expressos nas tabelas 5 e 6.

Verifica-se que as plântulas de bracaatinga com inoculo apresentam maior altura e 40% a mais em relação ao peso seco das folhas, caules e raízes das plântulas adubadas, mas não inoculadas. Por outro lado, experimentos realizados concomitantemente com plântulas de bracaatinga inoculadas com *Rhizobium* comprovaram que o plantio sem adubação provoca um retardamento muito grande do crescimento inicial. Além disso, não há formação de nódulos de *Rhizobium* e conseqüentemente as plantas não possuem atividade de fixação ou esta se manifesta bem mais tarde, como observado em situações de campo.

Do ponto de vista prático, é importante que uma certa dose inicial de adubo seja colocada na cova por ocasião do plantio, contudo é preciso agora esclarecer quais dos elementos adicionais (NPK) é realmente limitante e qual seria a dose ótima para estimular o crescimento e a atividade simbiótica de fixação. Estes estudos terão uma grande importância sobre a economicidade das plantações futuras em solos alterados.

TABELA 5: Efeito da inoculação de *Rhizobium* em plântulas de *Mimosa scabrella*, adubadas com NPK (5:14:3), aos 6 meses de idade. Concentração de nutrientes nas folhas.

Tratamentos	%						ppm	
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	
NPK (5:14:3) 25 g/m ² c/ inoculo	2,09	0,14	1,15	1,28	0,30	625	100	
NPK (5:14:3) 25 g/m ² s/ inoculo	1,35	0,15	1,33	1,13	0,03	625	150	

TABELA 6: Efeito da inoculação de *Rhizobium* sobre o crescimento das plântulas de *Mimosa scabrella*, aos 6 meses de idade (Médias por plântula).

Tratamentos	Altura (em cm)	Peso seco Folhas (g)	Peso seco Caule (g)	Peso seco Raiz (g)	Peso seco (g) total	Peso seco dos nódulos <i>Rhizobium</i> (g)
Inoculo + NPK (5:14:3)	71,06	165,6	156,7	57,1	386,0	6,6
NPK (5:14:3)	62,77	111,0	104,9	29,9	245,8	-

Por outro lado, é preciso lembrar a importância da deposição de nutrientes através da formação do folheto sobre os solos florestados, o que torna o processo de recobrimento do solo alterado de grande significado ecológico pela proteção do solo contra a erosão, a lixiviação e a compactação e pelos nutrientes que são incorporados na camada superficial e que possibilitam, a curto prazo, a instalação de culturas florestais ou agrícolas mais exigentes.

A bracaatinga estudada em São Mateus do Sul é um exemplo bem significativo. Sobre o solo dos pequenos talhões instalados, foram colocadas telas de nylon com o objetivo de reter o material vegetal depositado pelas copas das árvores (folheto). As telas distribuídas ao acaso nas diversas parcelas forneceram amostras, ainda não conclusivas, mas bastante indicativas da deposição de folhas sobre o solo de talhões de bracaatinga não desbastados (tabela 7).

TABELA 7: Deposição sobre o solo de matéria orgânica através do folheto em talhões experimentais de *Mimosa scabrella* não desbastados.

	Tratamentos		
	Testemunha	Dose 1	Dose 2
Deposição de folheto – 1980		3 t calcário/ha + (5:14:3) 25 g/m ²	5 t de calcário/ha + NPK (5:14:3) 50 g/m ²
Meses	Kg/ha/mes		
Julho	168	156	262
Agosto	306	500	490
Setembr	140	116	140
Outubro	326	220	400
Total	940	992	1292

Verifica-se que de maneira geral a adubação incrementa a produtividade e conseqüentemente a deposição total de folheto. Contudo, mesmo levando-se em consideração apenas o talhão não adubado, observa-se uma deposição equivalente a 940 kg de folheto, por hectare, de julho a outubro. É preciso lembrar que os meses de inverno apresentam em geral uma produtividade bem inferior a dos meses de verão. Desta forma, no período de um ano, a biomassa de folheto depositado sobre o solo deverá girar ao redor de 4.500 kg/há. Considerando-se que, em média, o folheto coletado (dados preliminares) possui uma concentração de nitrogênio ao redor de 2,0%, pode-se estimar que, no período

de um ano, serão depositados sobre o solo coberto por bracaatinga cerca de 90 kg de nitrogênio por hectare.

A deposição das folhas por parte da bracaatinga contribui, portanto, para a melhoria das características físicas e químicas do solo cujo maior problema é constituído pela pobreza de matéria orgânica e pela baixa fertilidade. Os dados da tabela 8 evidenciam bem o efeito da formação do folheto sobre algumas características químicas do solo superficial.

TABELA 8: Características químicas do solo superficial coletado dentro do talhão não adubado de *Mimosa scabrella* (2,5 anos) em relação às relações às características do solo coletado fora do talhão e sem vegetação (testemunha).

Amostras	Teor trocável em miliequivalentes/100 ml de terra							
	pH	C%	PO ₄	K	Ca	Mg	Al	N-total %
Dentro do talhão	4,6	0,72	0,01	0,20	1,80	0,75	4,96	0,147
Fora do talhão	4,4	0,30	0,01	0,16	1,31	0,96	6,08	0,098

Observa-se uma nítida recuperação da fertilidade do solo principalmente com relação ao teor de carbono orgânico extremamente baixo no solo testemunha e também em relação ao nitrogênio total que, num período relativamente curto (2,5 anos), acusou um aumento de 50%.

Estes dados, apesar de preliminares, são de grande valor por evidenciarem o potencial das espécies leguminosas para plantações futuras sobre solos alterados.

5. RESULTADOS PRELIMINARES REFERENTES AO CRESCIMENTO DA ERVA-MATE E DE OUTRAS ESSÊNCIAS FLORESTAIS NATIVAS SOBRE O SOLO ALTERADO

O estudo sobre o recobrimento do solo alterado tem por objetivo, a médio e a longo prazo, tornar a área já utilizada pela mineração uma região não apenas ecologicamente estável, mas também produtora de bens florestais e agrícolas. Além disso, poderão ser criadas, sem despesas vultuosas, áreas de lazer com a formação de pequenos lagos e áreas paisagísticas criadas em pontos estratégicos.

Neste sentido, o IPEF – Depto. de Silvicultura da ESALQ, em convênio com a PETROBRÁS, vem desenvolvendo a seleção de espécies florestais aptas ao bom desenvolvimento sobre o solo alterado. Estas pesquisas vem sendo desenvolvidas em condições controladas de casa de vegetação e viveiro, utilizando-se sempre como substrato o solo alterado. Os resultados tem sido sempre bastante satisfatórios, vistos que permitem fazer uma previsão precisa do comportamento das diversas espécies florestais sem despesas onerosas com o preparo de solo na área de São Mateus do Sul.

Depois de comprovada sua adaptação ao solo alterado, as diversas espécies são plantadas em condições de campo na região de São Mateus do Sul. É importante frisar que os resultados preliminares, até agora obtidos na ESALQ, tanto em relação à adaptabilidade das espécies como em relação às doses de adubo, sempre foram inteiramente confirmados em condições de campo.

Sem dúvida isto representa uma grande economia, considerando os baixos custos de instalação das parcelas experimentais no campo.

As espécies que no momento vêm sendo estudadas são as seguintes:

Araucária angustifolia (Pinheiro do Paraná) – Araucariaceae
Peltophorum clubium (canafistula) – Leguminosae
Colubrina glandulosa (sobrasil) – Rhamnaceae
Diatenopteryx sorbifolia (maria-preta) – Sapindaceae
Schizolobium parahyba (guapuruvu) – Leguminosae
Ilex paraguariensis (erva-mate) – Aquifoliaceae
Mimosa scabrella (bracaatinga) – Leguminosae

Trata-se de espécies indígenas na região do Paraná (REITZ *et alii*, 1978), cujo comportamento em relação ao crescimento sobre o solo alterado e ao xisto ainda não se conhece.

Dentre as espécies viáveis para o reflorestamento vem sendo dada preferência às leguminosas de rápido crescimento e heliofitas (de pleno sol), por serem mais apropriadas e resistentes nesta fase inicial da cobertura vegetal. Além disso, estas espécies recobrem rapidamente o solo e o suprem com matéria orgânica muito rica em nitrogênio.

Na ESALQ, estas espécies são plantadas em caixas contendo solo alterado com e sem adição de adubo. O objetivo principal destes tratamentos consiste em observar o efeito benéfico do adubo e os possíveis sintomas de toxidez e/ou deficiências que eventualmente possam aparecer nas plantas desenvolvidas sobre o solo alterado. Periodicamente são efetuadas medições e análises foliares para avaliar o teor de macro e micronutrientes.

Até o presente, a canafistula apresenta-se como espécie promissora, com crescimento comparável ao da bracaatinga. A *Araucária angustifolia* vem apresentando também um crescimento razoável em altura, na fase inicial. Contudo, a reserva de nutrientes contidos na semente, que permanece ligada por várias semanas à plântula, torna prematura qualquer previsão. É preciso ressaltar que a *Araucária* exige normalmente solos férteis.

Por último, algumas considerações devem ser feitas em relação à erva-mate. Esta espécie é de grande potencialidade para a região de São Mateus do Sul. Contudo, alguns ensaios se fazem necessários antes de executar seu plantio sobre o solo alterado em condições de campo.

A primeira questão refere-se a sua tolerância ao solo e à presença da camada inferior de xisto retornado. A pesquisa que vem sendo desenvolvida na ESALQ mostra a possibilidade de ser superada a baixa fertilidade e a acidez do solo através da calagem e da adubação (tabela 9). Entretanto, não existem ainda resultados definitivos sobre a possível toxidez provocada pelo xisto, quando o sistema radicular atinge a camada inferior. Análises futuras quanto à composição mineral e aos constituintes químicos dos extratos das folhas esclarecerão estas dúvidas. Neste sentido, está sendo providenciada a formação de novas mudas através de propagação vegetativa e também por sementes. Estas mudas serão usadas nos próximos ensaios de viveiro.

TABELA 9: Crescimento em altura das plantas de erva-mate em solo de viveiro adubado e em solo alterado adubado e não adubado, após 8 semanas e com 80% de luminosidade

Tratamentos	Solo de viveiro	Solo alterado sem adubo	Solo alterado com adubo
	cm	cm	cm
Altura das plantas	30,4	26,8	33,4
	%	%	%
Porcentagem de crescimento em relação à altura inicial	9,3	3,6	21,52

Nota: Até o presente, nenhuma das plantas apresentou níveis de deficiências nutricionais ou de toxidez.

A outra questão importante a ser pesquisada está relacionada com a tolerância das mudas de erva-mate à plena luz.

Sabe-se que esta espécie é encontrada naturalmente à sombra das grandes árvores que constituem os capões de florestas onde predominam a *Araucária angustifolia* e outras espécies das regiões sulinas. Contudo, quando a árvore de erva-mate atinge certo tamanho, ela pode ser plantada também a pleno sol. Estas observações ecológicas sugerem a necessidade de um estudo referente à iluminação ideal para o bom crescimento desta espécie. Com este objetivo serão instalados dois ensaios: o primeiro em condições de viveiro e o segundo em condições de campo.

Para o ensaio em condições de viveiro serão utilizadas telas de “sombrite” com diferentes capacidades de interceptar a luz solar. Através deste experimento poder-se-á determinar o sombreamento ideal.

Concomitantemente serão instaladas no campo (região de São Mateus do Sul) algumas mudas entre as árvores do talhões de bracaatinga já existentes, com o objetivo de testar a possível consorciação destas duas espécies (erva-mate sombreada pela bracaatinga).

Sendo a bracaatinga uma espécie de sol e de rápido crescimento, ela poderá no futuro servir como sombreamento e proteção das mudas de erva-mate. Desta forma, ter-se-á a recuperação do solo alterado e ao mesmo tempo poderá ser obtida uma considerável produção de mate, desde que os potenciais da área sejam favoráveis e bem explorados.

Por outro lado, a utilização do Pinheiro do Paraná, da bracaatinga e da canafistula consorciadas com a erva-mate servirá também para reconstituir, em parte, as características paisagísticas da região. Culturas agrícolas e plantas frutíferas também deverão ser testadas futuramente. Contudo, do ponto de vista ecológico, face à pobreza de matéria orgânica do solo alterado, é aconselhável que o início seja feita uma cobertura florestal.

LEGENDA

FOTO 1: Perfil do solo alterado sobre xisto

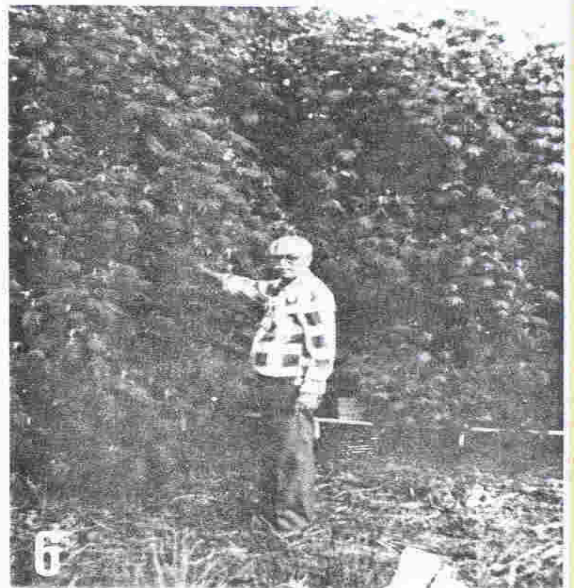
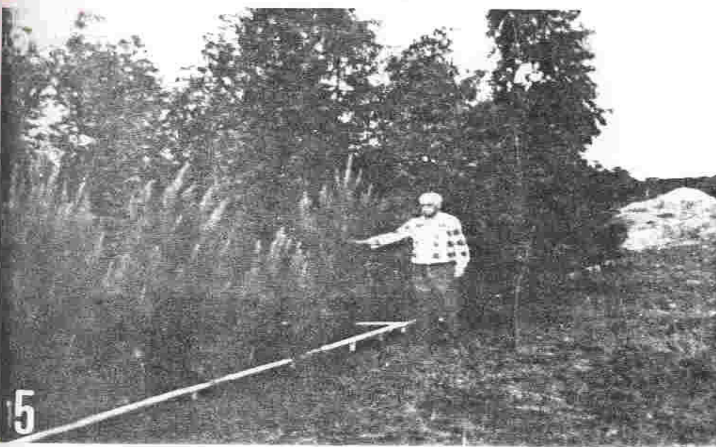
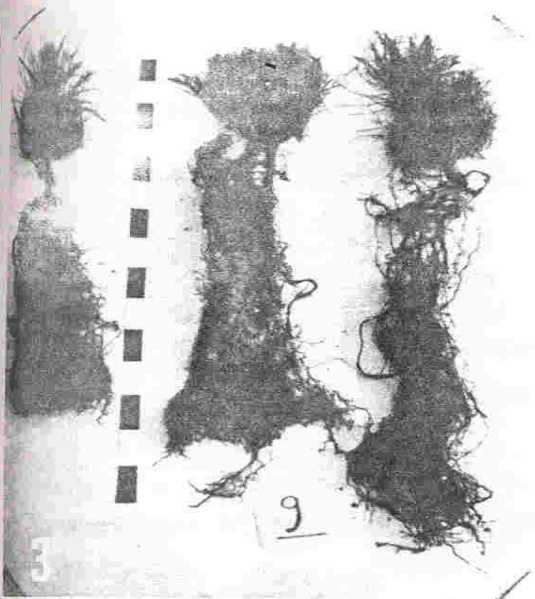
FOTO 2: Ensaio em viveiro – parcelas contendo diferentes tratamentos de solo alterado planado com *Eucalyptus viminalis*.

FOTO 3: Crescimento do sistema radicular de plantas de *Pinus taeda* limitado pelo contacto com o xisto retortado no fundo de recipiente.

FOTO 4: Plantas de erva-mate em solo alterado, protegidas com sombrite.

FOTO 5: Plantas de *P. taeda* e *E. viminalis* adubadas, aos 2 anos de idade.

FOTO 6: Parcela adubada de bracaatinga, aos 2 anos de idade.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROW, A.H. Success of tree planting on strip – mined areas in West Virginia, Morgantown. College of agriculture, Forestry and Home Economics, 1962. 35p.
- BURRIS, R.H. – Nitrogen fixation. In: BONNER, J. & VARNER, J.E., ed. Plant biochemistry. 3.ed. New York. Academic Press, 1976. p.887-908.
- FRISCHKNECHT, N.C. & FERGUSON, R.B. – Revegetation processed oil shale and coal spoil on semi-arid lands: interim report. EPA-OGDEN, (600/7-79-068): 1-47, fev.1979.
- KRAMER, P.J. – Physiology of woody plants. New York, Academic Press, 1979, 811p.
- MOREIRA, H.B. – Xisto uma contribuição efetiva para complementar a produção de petróleo. Revista técnica. Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, (16): 1-14, jun.1979.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES – Tropical legumes: resources for the future. Washigton, 1979. 331p.
- REITZ, R., KLEIN,R.M. & REIS, A. – Projeto madeira de Santa Catarina: levantamento de espécies florestais nativas com possibilidade de incremento e desenvolvimento. Sellowia, Itajaí, 30 (28/30): 1-320, mai.1978.
- SAXTON, E.H. & SEAM – RX for mined land. American forests, Washington, 85 (12): 16-9, dez.1979.
- SIMÕES, J.W. et alii – Adaptabilidade de espécies florestais de rápido crescimento em solo alterado pela exploração do xisto. IPEF, Piracicaba (16): 1-5, 1978.
- WALI, M.K. – Ecology and coal resource development. New York, Pergamon Press, 1978. v.2, p.541-1089.