

02279  
MFN 06985

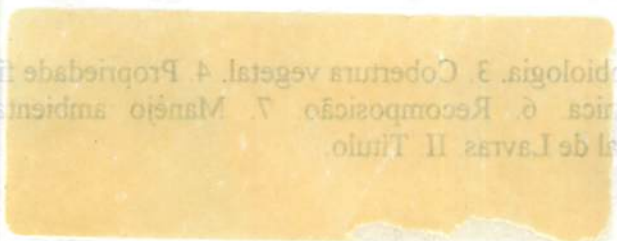
**MARCELO DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DE DUNAS EM  
RECUPERAÇÃO E SUA INTERRELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS,  
QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental, para obtenção do título de "Mestre".

**Orientador**

**BASTIÃO CARLOS DA SILVA ROSADO**



**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1996**

**Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da  
Biblioteca Central da UFLA**

Santos, Marcelo dos

Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas em recuperação e sua interrelação com as propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo / Marcelo dos Santos. -- Lavras : UFLA, 1996.

81 p. : il.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Dissertação ( Mestrado ) - UFLA.

Bibliografia.

1. Solo. 2. Microbiologia. 3. Cobertura vegetal. 4. Propriedade físico-química. 5. Bioquímica. 6. Recomposição. 7. Manejo ambiental. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD - 631.46

**MARCELO DOS SANTOS**


**AVALIAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DE DUNAS EM  
RECUPERAÇÃO E SUA INTERRELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS,  
QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental, para obtenção do título de "Mestre".

**APROVADA** em 27 de dezembro de 1996

  
Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto

  
Prof. Ary Teixeira de Oliveira Filho

  
Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado  
(Orientador)

**Em especial à minha mãe, Nena,  
pelo apoio, amor, carinho e luta para a  
minha formação, ao meu pai, Pedro e a  
minha filha Moara e todas as crianças e  
árvores, as quais desejo um futuro com  
prosperidade num planeta já ameaçado.**

## **OFEREÇO**

**Para ser grande,  
sê inteiro, nada teu  
exagera ou exclui.  
Sê todo em cada coisa.  
Põe quanto és no  
Mínimo que fazes.  
Assim em cada lago  
A lua toda brilha  
Porque alta vive!**

**À minha esposa, Adriana, pela dedicação,  
apoio, compreensão, companheirismo e  
amor nas horas mais difíceis e fundamentais  
nesta etapa.**

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

**À Deus, que se faz presente em tudo e em todos.**

**À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade e a Coordenadoria de Pós-Graduação.**

**Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo concedida.**

**Ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do curso, e infra-estrutura oferecidas.**

**À Companhia Rutilo e Ilmenita S.A., na pessoa de seu gerente de mineração, Clever Gomes da Fonseca pela oportunidade na realização deste trabalho.**

**Ao orientador e amigo, Professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, pelo apoio, dedicação e ajuda imprescindíveis à minha formação acadêmica nesta grande jornada, bem como à conclusão deste trabalho.**

**À Fundação Abraham Kasinski, pelo apoio logístico e financeiro ao final de meu curso.**

**Ao Professor José Oswaldo Siqueira, pelas sugestões apresentadas e disponibilidade.**

**Ao Professor Ary Teixeira de Oliveira Filho, pela orientação, sugestões e apoio.**

**Ao pesquisador Antônio Eduardo Furtini Neto, pela atenção e sugestões.**

**Ao Professor José Roberto Scolforo, pela compreensão e apoio durante o curso.**

**Ao Professor Antônio Cláudio Davide, pelo apoio.**

**Aos meus amigos e professores Paulo Roberto Correa Landgraf e Francisco Rodrigues da Cunha Neto, pelo incentivo, apoio, sugestões e ajuda nesta caminhada.**

**Aos meus amigos, Eduardo, Anderson, Herly, Aurora, Santos, Flavinha, José Márcio Faria, Edmilson, Agnaldo e demais colegas pelo companheirismo e ajuda.**

À funcionária Rosângela do Laboratório de Sementes Florestais, pela ajuda e amizade formada.

Ao Departamento de Ciência do Solo, pelas análises das amostras de solo e pela utilização de suas instalações.

Ao Laboratório de Microbiologia do Solo pelas análises microbiológicas e suas instalações.

Ao Professor Douglas Antônio de Carvalho e ao Departamento de Biologia, pelo uso do herbário.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais e Solos, Claret, Manuel e Nilson e demais colegas de Pós-Graduação de Solos, Eduardo, Rosa e Luis, pela ajuda e determinações analíticas.

Aos funcionários da Biblioteca Central da UFLA.

Aos funcionários Claudeci e João, pela coleta de material botânico e levantamento de campo.

Aos colegas e amigos do curso de mestrado, bem como demais professores, pela convivência, sugestões, troca de experiência e saudável convívio em bons momentos compartilhados.

À todos aqueles que de uma forma ou outra ajudaram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS .....	ix
RESUMO.....	xiii
SUMMARY.....	xv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1	
PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS E SUAS INTERRELAÇÕES EM SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE MATA DE RESTINGA, TABULEIRO E DUNAS DE REJEITO DE MINERAÇÃO, SOB PROCESSO DE RECUPERAÇÃO.....	4
1.1 INTRODUÇÃO.....	4
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
1.2.1 Caracterização da área de estudo.....	7
1.2.1.1 Localização e clima.....	7
1.2.1.2 Geologia .....	9
1.2.1.3 Relevo .....	10
1.2.1.4 Campo de Dunas .....	10
1.2.1.5 Dunas de rejeito da mineração - Histórico .....	11
1.2.1.6 Irrigação .....	14
1.2.1.7 Quebra ventos .....	14
1.2.2 Métodos.....	15
1.2.2.1 Seleção dos locais de estudo e coleta das amostras.....	15
1.2.2.2 Procedimento de Campo.....	18

1.2.2.3 Determinações Analíticas.....	19
1.2.2.4 Análise Estatística.....	22
<b>1.3 RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
1.3.1 Peso da matéria seca da fitomassa e cobertura vegetal.....	23
1.3.2 Características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo.....	24
1.3.3 Análise de Componentes Principais (PCA).....	33
<b>1.4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
1.4.1 Peso da matéria seca da fitomassa e cobertura vegetal.....	35
1.4.2 Características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo.....	36
<b>1.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E</b>	
<b>ESPÉCIES HERBÁCEO-ARBUSTIVAS DE TABULEIRO E DUNAS DE REJEITO</b>	
<b>SOB PROCESSO DE RECUPERAÇÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>46</b>
2.2.1 Área de estudos.....	46
2.2.2 Métodos.....	46
2.2.2.1 Vegetação.....	46
2.2.2.2 Análise da Vegetação e Procedimento de Campo.....	47
2.2.2.3 Análise dos Dados.....	48
2.2.2.4 Análise de Correspondência Canônica.....	49
<b>2.3 RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
<b>2.4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>2.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS.....</b>	<b>71</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1.1	Locais de amostragem para coleta de solo e análise da vegetação em dunas de rejeito de mineração.....	15
1.2	Propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas de solo sobre vegetação de mata de restinga, tabuleiro e dunas em recuperação em Mataraca, PB (média ± desvio padrão).....	25
2.1	Escalas de magnitude do grau de cobertura e da sociabilidade das espécies (Braun e Blanquet, 1979).....	48
2.2	Relação das espécies de plantas encontradas em Tabuleiro em Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura .....	51
2.3	Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com um ano de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.....	52
2.4	Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com três anos de idade e com irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.....	53

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>	
2.5	Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com três anos de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.....	54
2.6	Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com cinco anos de idade e com irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.....	55
2.7	Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com cinco anos de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.....	57
2.8	Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com sete anos de idade e com irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.....	58
2.9	Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com sete anos de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.....	60
2.10	Análise de correspondência canônica (CCA): matriz de correlações ponderadas entre os quatro primeiros eixos de espécies e os eixos do ambiente, e estes com as variáveis ambientais. P, fósforo; K, potássio; m, saturação de alumínio da CTC efetiva; CO, carbono orgânico; areia; limo; argila; Zn, (zinco); Mn, (manganês); B, (Boro); Esp., (esporos de MA's); AEFA, Atividade Específica de Fosfatase Ácida; Irrig., (Irigado); Nirrig., (Não Irrigado). Os fatores balanceados por parcela de amostragem são o número de indivíduos com valor de cobertura $\geq 1000$ por espécie e as variáveis ambientais padronizadas pela média igual a zero e variância igual a unidade.....	62

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1.1	Localização das áreas de estudo, na região do município de Mataraca, na RIB S.A., Paraíba .....	8
1.2	Peso médio da matéria seca da fitomassa (arbustos e gramíneas) em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades e em condição irrigada e não irrigada. Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD) ( $P < 0,05$ ).....	23
1.3	Valores médios da percentagem de cobertura vegetal de solo de dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades e em condição irrigada e não irrigada. Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD) ( $P < 0,05$ ).....	24
1.4	Valores médios de alumínio trocável em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	26
1.5	Valores médios de cálcio em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	26

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1.6	Valores médios da CTC efetiva em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	27
1.7	Valores médios de soma de bases em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	28
1.8	Valores médios de saturação por bases em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	28
1.9	Valores médios de saturação por alumínio em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	29
1.10	Valores médios das concentrações de boro em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	29
1.11	Valores médios das concentrações de zinco em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD $P < 0,05$ ).....	30

**Figura****Página**

- 1.12 Valores médios das concentrações de manganês em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ )... 31
- 1.13 Valores médios das concentrações de fósforo disponível em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ )... 32
- 1.14 Valores médios da atividade específica de fosfatase ácida em solos de dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ )..... 32
- 1.15 Valores médios do número de esporos de gêneros e espécies de fungos micorrízicos arbusculares (MA's) em solos de dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ). 33

1.16 **Análise de Componentes Principais (PCA):** diagrama de ordenação conjunta dos ecossistemas - variáveis nominais (MT=Mata, Tab=Tabuleiro, 1NI=1 ano não irrigação, 3I=Três anos irrigado, 3NI=Três anos não irrigado, 5I=Cinco anos irrigado, 5NI=Cinco anos não irrigado, 7I=Sete anos irrigado, 7NI=Sete anos não irrigado) - e fatores ambientais - variáveis contínuas (→). Os autovalores dos dois primeiros eixos foram 4,42 e 3,61, respectivamente. A variância percentual acumulada pelos dois mesmos eixos foi de 61,87%. C.O. = carbono orgânico, S = soma de bases trocáveis, m = saturação do alumínio da CTC efetiva, (P, K, Mn, B) = parâmetros químicos estudados, AEFA = atividade específica de fosfatase ácida, MA = número de esporos de micorrizas vesicular arbusculares, ARG = argila, AR = areia, LI = limo.....

34

2.1 **Eixos de ordenação** produzidos pela análise de correspondência canônica dos dados das 40 parcelas amostradas na mata de restinga e dunas em recuperação irrigadas ou não por aspersão a partir dos 8 indivíduos com os maiores valores de cobertura na amostragem total. Os gráficos mostram as interrelações entre (a) a distribuição dos locais e as variáveis ambientais e (b) distribuição das espécies e variáveis ambientais. Os locais são identificados pelas três letras, sendo que estes foram separados de acordo com a situação em que foram classificados: mata de tabuleiro, um ano não irrigado, três anos irrigado, três anos não irrigado, cinco anos irrigado, cinco anos não irrigado, sete anos irrigado e sete anos não irrigado. As espécies são identificadas pelos seus nomes abreviados; os nomes completos encontram-se nas tabelas 2.2, 2.3, 2.4 e 2.8. As escalas de ambos os gráficos são coincidentes.....

61

## RESUMO

SANTOS, Marcelo dos. **Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas em recuperação e sua interrelação com as propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo.** Lavras, UFLA, 1996. 81p. (Dissertação-Mestrado em Engenharia Florestal)\*

O principal objetivo deste estudo foi investigar a distribuição das espécies de porte herbáceo-arbustivo de diferentes ambientes constituídos de tabuleiro, mata de restinga e de dunas de rejeito de mineração em fase de recuperação, sendo estas irrigadas ou não pelo processo de aspersão e com idades de um, três, cinco e sete anos, bem como relacioná-las com variáveis ambientais. O estudo incluiu, ainda, análises da composição florística e fitossociológica destes ambientes. Os estudos da vegetação e das variáveis ambientais (propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo) foram conduzidos em 45 parcelas de 3,0 x 3,0m, distribuídas nos diferentes ambientes localizados em áreas de mineração da empresa RIB S.A., localizada em Mataraca - litoral norte da Paraíba, as quais são circundadas por matas de restinga estendidas sobre as dunas litorâneas e tabuleiro, o qual é localizado na parte posterior das mesmas. A partir das variáveis ambientais e dos dados de distribuição das espécies vegetais, procederam-se as análises indiretas de gradientes. Nestas análises, produziram-se diagramas de ordenação de parcelas, espécies e variáveis ambientais através de análise de componentes principais (PCA) e de correspondência canônica (CCA). Foram identificadas nas dunas em recuperação e tabuleiro um total de 96 espécies herbáceo-arbustivas, pertencentes a 33 famílias, sendo que o maior número de espécies e famílias foi encontrado nas áreas de dunas irrigadas. Para as áreas de dunas em recuperação com três, cinco e sete anos, não irrigadas, observou-se um maior valor de cobertura das espécies *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens* e *Digitaria horizontalis*. O grande número de esporos de fungos micorrízicos vesiculares-arbusculares (MA's) encontrados nas áreas

---

\*Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado. Membros da banca: Ary Teixeira de Oliveira Filho, Antônio Eduardo Furtini Neto.

parcelas de tabuleiro e dunas com um ano dos demais locais, enquanto que as dunas com três, cinco e sete anos irrigadas ou não, apresentaram-se dispersas e não evidenciaram a existência de um gradiente de sucessão em função das variáveis do solo e irrigação. As frações bioquímicas e fração do carbono orgânico, bem como as maiores correlações entre a matéria orgânica e propriedades químicas do solo, verificada nos ecossistemas de mata de restinga e área em recuperação com sete anos e irrigada, indicaram a maior intensidade de seus processos biológicos.



## ABSTRACT

### AN ASSESSMENT OF PLANT COVER RESTORATION ON SAND DUNES UNDER ENVIRONMENTAL RECLAMATION AND ITS INTERRELATIONSHIP WITH PHYSICAL, CHEMICAL, BIOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS

The chief purpose of this study was to investigate the distribution of herb-shrub species from different environments made up of 'tabuleiro', 'restinga' vegetations and sand tailing dunes in recovery phase, as well as to relate them with environmental variables. The dunes are irrigated or not by the sprinkling process and are found under the ages of one, three, five and seven years. The study still includes analyses of both the floristic and phytosociological composition of these environments. The studies of the vegetation and of the environmental variables (physical, chemical, biochemical and microbiological properties of the soil) were conducted on 45 plots of 3.0 x 3.0m, distributed in the different environments, all located in the mining areas of RIB S. A., the enterprise situated at Mataraca - northern coast of Paraíba. The area is surrounded by 'restinga' vegetation, which extends over the coastal dunes, and 'tabuleiro', which is situated on the inner portion of the dunes. From environmental variables and plant species distribution data, indirect gradient analyses. Were carried out producing ordering diagrams of plots, species and environmental variables through Principal Components Analysis (PCA) and Canonical Correspondence Analysis (CCA). In the recovering dunes and 'tabuleiro', a total of 96 herb-shrub species were identified, belonging to 33 families, the largest number of species and families found in the irrigated dune areas. For non-irrigated recovering dunes with three, five and seven years of age, the highest cover values were found for the species: *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens* and *Digitaria horizontalis*. The larger number of fungal spores of arbuscular vesicular mychorizal (MA's) was observed in the dune

areas with five years old and non-irrigated. Their presence in old other sites denoted, even when they were deeply disturbed, their soils maintain a microbiological community potentially favorable to the self sustainability of ecosystems. The PCA showed marked differences, among the soil samples. These variations among the sites were recorded for: exchangeable base sum, aluminium saturation, zinc, number of vesiculo-arbuscular mychorrizal spores (MA's) and specific activity of acid phosphatase. However, such variations, on account of the several procedures performed on recovering dunes as well as particular conditions of the studied sites, were not sufficient to explain arisen patterns on soil proprerties relative to age and irrigation. The CCA separated the 'tabuleiro' plots and dunes of one year from the other places, while the dunes of three, five, seven years, irrigated or not, wore mose spread and did not show the existence of a succession gradient in terms of soil variables and irrigation. The biochemical fractions and organic carbon fraction, as well as the greatest correlations between organic matter and chemical properties of soil, found in the ecosystem of 'restinga' and recovering area of seven year and irrigated, point to the highest intensity of their biological processes.

## INTRODUÇÃO GERAL

A mineração é uma das atividades que mais contribui para a alteração da superfície terrestre. Isso acontece porque minerar significa extrair, economicamente, bens minerais da crosta terrestre.

Desde 1988 existe a exigência legislativa, do Artigo 115 da Constituição brasileira, de que as áreas degradadas pela mineração do país devam ser recuperadas. Antes mesmo da exigência constitucional para recuperação das áreas por mineração, algumas empresas já desenvolviam trabalhos conservacionistas de áreas sob exploração de minerais (IBAMA, 1990).

Observa-se que a maioria das empresas tem optado por práticas de recobrimento rápido do solo sem considerar resultados mais duradouros. Talvez influenciadas pela padronização da produção mineral, estas utilizam receitas igualmente uniformes ao preparo do terreno e ao plantio das espécies vegetais. Elas encaram o problema como se fosse possível desenrolar um "tapete verde" sobre os locais degradados e deixam isso como solução definitiva. Esquecem que a natureza levou milhões de anos para formar os ecossistemas tendo o solo e a vegetação como alguns dos seus componentes.

Dentro deste quadro, deixa-se de lado aspectos ecológicos fundamentais como a biodiversidade e a sustentabilidade dos plantios. Assim sendo, geram-se situações tais como a necessidade de freqüentes fertilizações, a suscetibilidade dos monocultivos à destruição de pragas, a erosão devido as falhas no tapete, o empobrecimento visual a médio prazo e a frustração geral dos administradores. Entende-se que seria injusto pormenorizar essas tentativas porque muitas empresas tiveram o mérito de iniciar tais programas voluntariamente antes da nova legislação e continuam procurando aprimorá-las (Griffith, 1992). Avaliando a situação atual, observa-se uma tendência de uma abordagem mais ecológica, que poderia, a médio e longo prazo, melhorar os resultados biológicos e reduzir custos.

A revegetação pode ser um elemento de atuação e utilização nos programas de recuperação de áreas degradadas, assumindo diferentes funções, de acordo com a situação

encontrada (Fonseca, 1989). Desta forma, Griffith (1980) afirma que os objetivos da recuperação de uma determinada área degradada deva atender requisitos individuais e que o plano estabelecido deve deixar claro, previamente, o nível desejado de recuperação.

Neste sentido, diz-se que as terras são descritas degradadas quando suas condições edáficas e sua riqueza biótica foram reduzidas pela atividade humana a um ponto em que sua habilidade em satisfazer certos usos tenha declinado. A degradação ocorre geralmente quando algumas características do ecossistema (tais como: material orgânico, nutrientes do solo, sementes, biomassa, etc) tenham sido reduzidas até o ponto em que os "inputs" naturais não podem retorná-las ao seu estado em que estavam antes da degradação (Lugo, 1994).

Recuperar significa retornar a área degradada as suas formas e utilização segundo um plano definido para o uso do solo. A definição de recuperação é um processo que visa a reutilização da área e inclui principalmente trabalhos de engenharia e, normalmente, porém sem constância, processos biológicos. Já, reabilitação entende-se como o retorno de qualquer ecossistema transformado, danificado ou degradado, a um ecossistema plenamente funcional, independente do seu estado original ou estado final desejado. Existe um terceiro termo chamado restauração, que é usado quando algum ecossistema convertido, transformado, é trazido ao seu estado original nativo, presumido ou aproximado (Brown, 1993). No primeiro caso, a interferência humana pode contrariar os fenômenos naturais como ocorre, por exemplo, com a implantação de reflorestamento ou pastagens.

No caso da auto-sustentabilidade, a interferência humana tem um limite, como ocorre por exemplo, com a implantação de uma mata nativa visando a conservação da vida selvagem. Esta situação é difícil de ser atingida, especialmente, porque um ecossistema inclui plantas, animais, fatores abióticos e suas funções (Lugo, 1994).

Nas últimas décadas, a rápida evolução tecnológica tem provocado um incremento na demanda de materiais metálicos, verificando-se considerável incremento nas atividades de mineração (Szegi, 1988). Os recursos minerais, distribuídos heterogeneamente no globo terrestre, são cotidianamente procurados, descobertos, avaliados e explorados pelo homem (IBRAM, 1985).

Tomando-se o caso específico da mineração, de grande importância para a economia nacional, onde contribui indiretamente com cerca de 60% do PIB brasileiro (IBRAM, 1992), é importante que a pesquisa e a utilização de minerais prioritários e estratégicos para o Brasil seja implementada, porém, fazendo com que a recuperação das áreas degradadas seja um

componente essencial deste processo, através do uso de técnicas cada vez mais avançadas e apropriadas (Fontes, 1991).

A mineração de áreas de dunas litorâneas apresenta aspecto de particular relevância, devido à formação de grandes depósitos de areias quartzosas após o processo de separação gravitacional e magnética dos minerais. Este material, que constitui o rejeito da mineração, apresenta textura essencialmente arenosa e é praticamente isento de material orgânico e nutrientes devido às sucessivas lavagens que o mesmo recebe. Estes fatos, associados a outros fatores, tais como: fortes ventos alísios, erosão eólica, aumento da temperatura do solo e conseqüentemente, da evapotranspiração, tornam as condições ambientais sobre o rejeito da mineração extremamente inóspitas para que ocorra, a curto e médio prazo, uma satisfatória regeneração natural da cobertura vegetal.

Este caso, específico de mineração em dunas litorâneas, especialmente aqueles em que o resíduo da mineração apresenta elevados teores de metais pesados, são exemplos que mostram que o processo extrativista mineral, apesar de gerar inúmeros benefícios, é acompanhado de profundas modificações no meio físico e biológico, que podem ser de difícil reversibilidade ou até mesmo impossível, caso os estudos ambientais, envolvendo principalmente o solo e a vegetação não sejam levados em consideração no projeto de mineração.

Neste contexto, o presente trabalho buscará conhecer e interligar estes dois aspectos de ambientes degradados por meio de dois diferentes estudos: o primeiro deles (Capítulo 1) apresenta os resultados através da caracterização física, química, bioquímica e microbiológica, bem como de suas interrelações, as principais diferenças existentes entre mata de restinga, tabuleiro e dunas de rejeito, irrigadas ou não e em processo de recuperação. O segundo (Capítulo 2) investiga, por meio de análise multivariada, o estudo entre as variações estruturais da comunidade herbáceo-arbustiva que ocorrem no tabuleiro e dunas de rejeito em recuperação, abrangendo a identificação das espécies e comportamento de suas populações e as interrelações entre o comportamento destas comunidades e as características do solo.

## **CAPÍTULO 1**

# **PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS E SUAS INTERRELAÇÕES EM SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE MATA DE RESTINGA, TABULEIRO E DUNAS DE REJEITO DE MINERAÇÃO, SOB PROCESSO DE RECUPERAÇÃO**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

A atividade de mineração, construção de barragens, estradas e ferrovias, são importantes fontes de degradação do solo. No caso específico da mineração, além da retirada da vegetação natural, observa-se intensa movimentação do solo na abertura da lavra, e em alguns casos, acrescida de considerável volume de rejeitos que contribuem para o distúrbio da área.

O ponto comum dessas ações, e talvez o mais crítico, é a remoção dos horizontes superficiais do solo que se apresentam ricos em matéria orgânica. Dentre as ações da cobertura vegetal sobre o solo, os fenômenos de adição são de fundamental importância não só na superfície, através dos resíduos vegetais depositados, como no interior do solo, mediante restos que se decompõe (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992). No processo de ciclagem, a serapilheira acumulada nos solos sob condições de mata e dunas em recuperação desempenham um papel fundamental, pois é um importante reservatório de nutrientes, os quais através de processos químicos, físicos e biológicos, são liberados e novamente absorvidos pelos produtores primários (Delitti, 1989).

O atual enfoque na evolução biológica dos ecossistemas sob processo de recuperação ou reabilitação, é baseado na avaliação e monitoramento dos distúrbios nutricionais que podem comprometer a estabilidade e produtividade do novo ecossistema. As pesquisas sobre o presente tema têm evidenciado o aumento dos riscos de falência em consequências de fatos como o progresso da acidificação do solo devido ao aumento na deposição de hidrogênio,

alterações de reações específicas na rizosfera como a redução da mineralização do nitrogênio e carbono, perda de matéria orgânica, mobilização de metais pesados e lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  (IUFRO, 1995).

A recuperação de áreas degradadas se faz tanto pela deposição de material vegetal e reciclagem de nutrientes (Montagnini e Sancho 1990), como pela sucessão vegetal por outras espécies. Dessa forma, além de formar cobertura vegetal protetora do solo, também facilita o posterior estabelecimento de espécies vegetais mais exigentes (Baggio, 1986). Alguns estudos também tem sido conduzidos para estudar a dependência micorrízica de espécies arbóreas nativas (Dela Cruz et. al., 1988; Siqueira et. al., 1994). Dunas arenosas costeiras fornecem muitas vantagens para investigar o papel das micorrizas e sucessão. A maioria das pesquisas sobre micorrizas e sobre dunas arenosas tem contribuído com estudos detalhados sobre o estado micorrízico, sobre a colonização de plantas e sobre a identificação, distribuição e abundância dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA's), os quais infectam as raízes daquelas espécies (Giovannetti e Nicolson, 1983; Gemma e Koske, 1988; Blaszkowski, 1994). Embora as micorrizas possam exercer uma grande significância ecológica no suprimento de nutrientes de plantas distribuídas em dunas arenosas (Koske e Halvorson, 1981; Read, 1989), onde a escassez de fósforo, nitrogênio e potássio podem ser extremos (Kellman e Roulet, 1990; Maun, 1994), isto não tem sido experimentalmente verificado, e, poucos estudos tem descritos sua influência no crescimento de espécies de dunas arenosas (Gemma e Koske, 1992).

A sustentação de plantas em solos alterados, depende fundamentalmente do componente orgânico e, particularmente, da comunidade microbiológica do solo (Barth, 1989). No rizoplano, os microrganismos liberam ácidos que decompõem minerais presentes nos solos e nas rochas, excretam sideróforos (quelantes de baixo peso molecular) que complexam íons metálicos e promovem reações de oxidação e redução de elementos químicos (Hungria e Urquiaga, 1992; Eira, 1992; Cardoso e Freitas, 1992). A matéria orgânica, decomposta pelos microrganismos favorece a manutenção de íons metálicos em solução e a minimização de suas toxidades, assim como a capacidade de intercâmbio iônico e retenção da água nos solos. Desta forma, a biomassa microbiana é o componente fundamental nas transformações que equilibram e sustentam ecossistemas naturais, pois, são também sensíveis a solos perturbados e sua atividade é um dos principais indicadores para se verificar a sustentabilidade por longos períodos e uso das áreas degradadas (Sawada, 1995).

A biomassa microbiana, definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo-se as raízes de plantas e os grandes animais, constitui o primeiro estágio do carbono dos resíduos em decomposição no solo. Ela representa de 1 a 4% do carbono total do solo, podendo atingir toneladas por ha, sendo formada por células vegetativas em plena atividade funcional, capazes, portanto, de promover alterações importantes no sistema solo, atuando como um catalisador para as transformações da matéria orgânica do solo (MOS). Devido a grande quantidade, e ao fato de ser o maior componente lábil da MOS, ela se torna um importante reservatório de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas (Sawada, 1994). Como a biomassa é reciclada cerca de 10 vezes mais rápida que a fração orgânica morta do solo, grande parte dos nutrientes é liberada durante a sua reciclagem. Essa liberação ocorre de maneira gradual e em função dos fatores que controlam a atividade e a densidade microbiana do solo (Smith e Paul, 1990). Desta forma os microrganismos são fundamentais nas transformações que sustentam e equilibram ecossistemas naturais. Em adição, a análise microbiológica torna-se importante no planejamento de recuperação de áreas degradadas, mediante plantios, para que se evite o uso incorreto de insumos (Maun, 1989).

As características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo são os grandes responsáveis pelo tipo de vegetação que pode estabelecer-se numa área minerada. Nos trabalhos feitos sobre revegetação natural em áreas mineradas, vários autores determinaram que características diferentes do solo, como pH, deficiência de macronutrientes, alta condutividade elétrica, elevados teores de elementos tóxicos, são os fatores limitantes para o desenvolvimento da vegetação natural nessas áreas (Bell e Ungar, 1981; Baggio, 1986; Allen e Allen, 1990).

Dentro deste quadro, o objetivo básico deste trabalho foi investigar através de características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo, bem como de suas interrelações, as principais diferenças existentes entre mata de restinga, tabuleiro e dunas de rejeito irrigadas ou não em processo de recuperação.



## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **1.2.1 Caracterização da área de estudo**

#### **1.2.1.1 Localização e clima**

A área de estudos situa-se na propriedade da Companhia Rutilo & Ilmenita do Brasil (RIB) S.A., localizada na Costa Nordeste do Brasil, imediatamente ao sul da demarcação do limite entre os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, no local denominado Guaju, distrito e município de Mataraca, no estado da Paraíba entre as coordenadas 6° 28'20" - 6°30'00" S, 34°55'50" W, 10 a 75m de altitude (Figura 1.1). O rio Guaju, que limita a área com o estado do Rio Grande do Norte, também marca o que é considerado como a transição entre dois tipos de formações geomorfológicas do litoral terciário brasileiro na região nordeste (Araújo e Lacerda, 1987). O litoral super-úmido que se estende para o sul, é caracterizado pelas escarpas baixas da formação Barreiras, por dunas fixas e pelos recifes de coral. O litoral semi-árido, que se estende para o Rio Grande do Norte, é caracterizado por dunas altas e móveis, que chegam a penetrar vários quilômetros no continente.

O clima da região é tropical e chuvoso, com uma curta estação seca (tipo Am de Köppen). A temperatura média anual é de 26,0 °C e as médias mensais oscilam de 23,7 °C no mês de abril a 27,2 °C em novembro. A precipitação média anual de 1754,9 mm concentra-se 86,8% de fevereiro a agosto, sendo os meses mais chuvosos os de abril a julho e o mês mais seco o de dezembro, com médias de 297.7, 252.4 e 20.4 mm, respectivamente.

Embora a umidade do ar apresente uma certa variabilidade de um horário sinótico de observação para outro, o comportamento da média mensal apresenta-se entre outubro a março com 67,15% e abril a setembro com 83,57%, no período de 1989 a 1994, fornecendo uma idéia geral dos períodos de maior ou menor concentração de umidade na atmosfera da área do projeto (Dote Sá, 1995a).

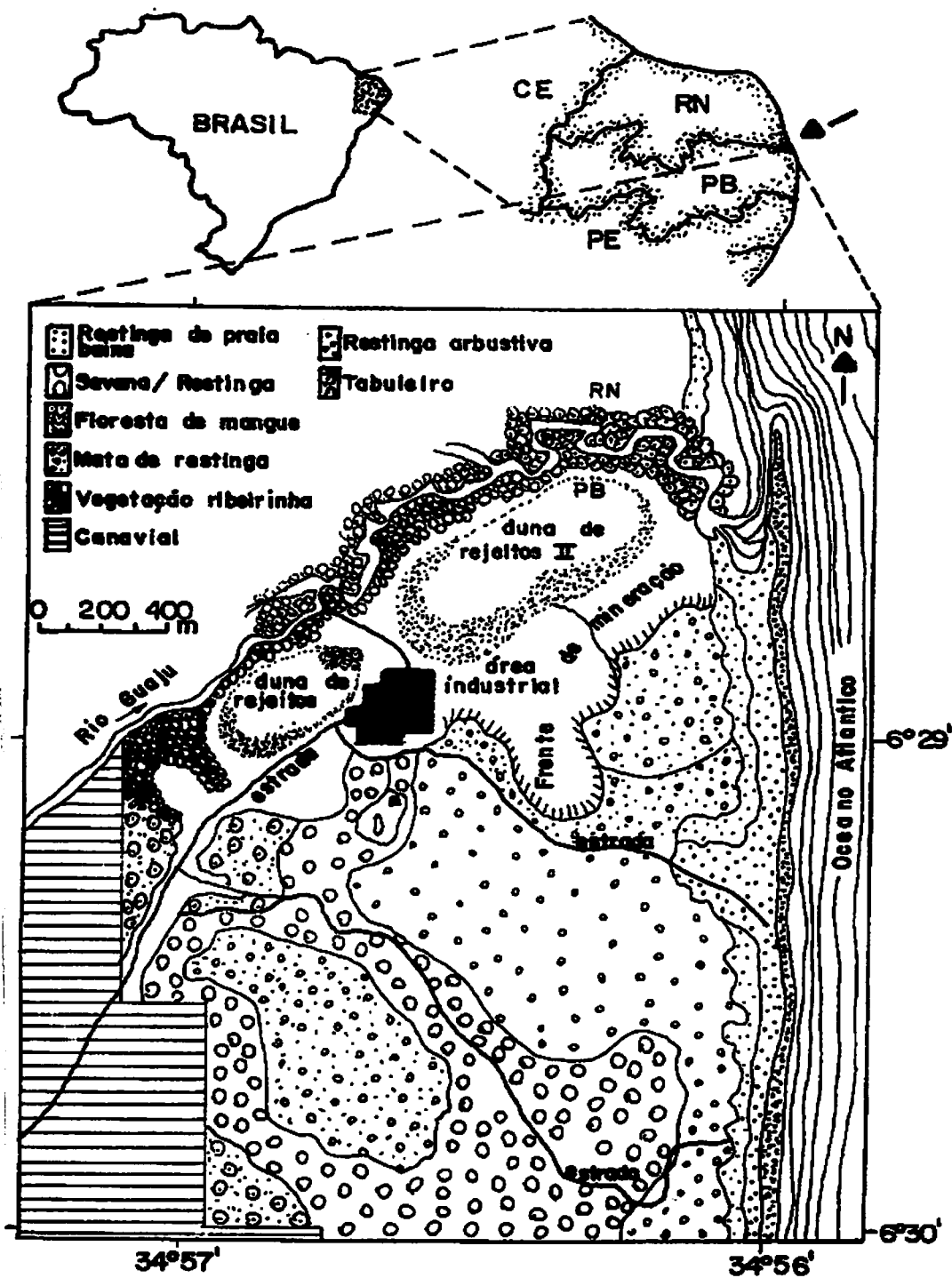


FIGURA 1.1. Localização das áreas de estudo, na região do município de Mataraca, na RIB S.A., Paraíba.

### 1.2.1.2 Geologia

A formação geológica predominante na área é o grupo Barreiras, composto principalmente de rochas sedimentares argilo-arenosas do terciário (Mabesoone e Castro, 1975). Na praia, onde ocorre o afloramento da formação barreiras, é formada uma escarpa baixa (2 a 4m), sendo quase totalmente coberta pela areia para o interior do continente.

O grupo Barreiras, representado pela formação Guararapes constitui o embasamento da área, ocorrendo em forma de tabuleiros, com suave inclinação em direção ao mar (Dantas, 1982). Aflora com maior destaque na porção oeste-nordeste da área em estudo, indo ressurgir no entalhamento do rio Guaju e em falências vivas na porção nordeste, sob o campo de dunas, devendo-se ressaltar que grande parte da unidade encontra-se recoberta pelos sedimentos recentes.

A representação do grupo Barreiras é constituída por sedimentos pouco consolidados, com auto grau diagenético fraco, compostos de conglomerados arcósiolos, arcósios e arenitos finos a grosseiros, mal classificados. A estratificação varia de mal definida a boa e as cores dominantes variam entre os tons de vermelho, castanho e ocre (Dote Sá, 1995b).

A partir da planície litorânea, em direção ao interior ocorre o campo de dunas sobrepostos ao grupo Barreiras numa extensão de aproximadamente 1,8 Km. São corpos de areias eólicas quaternárias inconsolidadas, de granulometria fina, bem classificadas, de grãos arredondados e esféricos, e coloração clara. Apresentam estratificação cruzada eólica, definida por finos níveis silto-argilosos. As dunas apresentam concentrações de minerais pesados econômicos como ilmenita, zirconita, rutilo e cianita, e minerais pesados não econômicos como limonita, granada, hornblenda e monazita disseminados numa matriz essencialmente quartzosa (Dote Sá, 1995a).

Segundo a compartimentação geomorfológica adotada pelo Projeto RADAMBRASIL, Folha SB. 24/25 Jaguaribe/Natal, a região da área de estudo está inserida na unidade geomorfológica denominada tabuleiros costeiros. Esta unidade inclui além dos tabuleiros, todas as formas de acumulação a eles sobrepostas, as quais recebem a denominação de faixa litorânea. Todo esse conjunto integra o domínio dos depósitos sedimentares cenozóico (Dote Sá, 1995b).

### **1.2.1.3 Relevô**

A areia quartzosa eólica ocorre sob forma de dunas fixas (paleodunas). As dunas são de formação recente e resultaram da ação conjunta da água e dos ventos. Os minerais leves e pesados são trazidos pelos rios e distribuídos ao longo das praias pelas correntes paralelas a costa. Os ventos carregam estes minerais para o interior, formando imensas dunas, ora fixadas pela vegetação e ora móveis, que cobrem uma grande faixa da formação Barreiras. Segundo Bessa (1975), a origem admitida para a formação destes depósitos é a seguinte: os minerais pesados formaram-se em rochas pré-cambrianas de granulação fina. Devido aos efeitos do intemperismo, tais rochas foram decompostas física e quimicamente, conservando-se os minerais pesados e o quartzo, que foram carreados para o mar pelos rios da região, depositando-se primeiramente na formação Barreiras. Posteriormente, por efeito de levantamento da costa, esta formação ficou descoberta, sofrendo uma fase de erosão, que até hoje persiste. Os minerais pesados foram novamente carreados para o mar, e, pelo efeito das correntes costeiras foram distribuídos pelas praias. A ação dos ventos predominantes arrasta os minerais leves e pesados para o continente, formando as vastas dunas que recobrem a região.

Acima da praia, estende-se um terraço arenoso estreito, que é sucedido pelas encostas inclinadas de dunas fronteiriças ao mar que podem atingir a altitude de 100m (normalmente as cristas ficam entre 50 e 80m). Estas dunas se formam com areia transportada das praias pelos ventos alísios que sopram para o noroeste durante a maior parte do ano. Da crista destas dunas para o interior, as encostas são mais suaves e conduzem à paisagem típica dos tabuleiros: planícies arenosas e levemente onduladas (Oliveira-Filho e Carvalho, 1993b).

### **1.2.1.4 Campo de Dunas**

A caracterização morfológica desse ambiente é de grande relevância, por razões como: maior expressão territorial de sua ocorrência dentro da área do projeto de mineração, valor paisagístico e ecológico das coberturas florestais que assentam-se sobre esta sub-unidade, e principalmente a concentração econômica de minerais pesados que viabilizam a atividade minerária neste ambiente.

O campo de dunas ocorre sobreposto aos tabuleiros, estendendo-se desde a planície litorânea, em direção ao interior, numa largura de cerca de 1,8 Km, e em uma faixa

paralela a costa, por toda a extensão da área do empreendimento. Compõe-se de um conjunto de dunas fixas já submetidas à influência de processos pedogenéticos. Ostentam uma cobertura arbórea-arbustiva relativamente densa com grande diversidade de espécies, o que impede a manifestação dos processos eólicos na superfície (Dote Sá, 1995b).

#### **1.2.1.5 Dunas de rejeito da mineração - Histórico**

Na época do início do presente estudo, maio de 1995, haviam quatro unidades de recobrimento constituintes de duas dunas de rejeito formadas na área de mineração.

Visando recuperar e estabilizar as dunas, foi iniciado em 1986, o trabalho de recuperação ambiental. Para tanto, a empresa conta com suporte técnico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), que concebeu e acompanha o projeto desenvolvido pela equipe de meio ambiente da RIB S. A.

A areia quartzosa (96,58%) das dunas, sob vegetação de restinga, contém uma fração de grãos de minerais pesados (3,42%), Ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), Zircônia ( $\text{ZrSiO}_4$ ) e Rutilo ( $\text{TiO}_2$ ), os quais são lavrados e beneficiados, representando os principais recursos minerais explorados pela RIB (Dote Sá, 1995a).

O processo de mineração consiste no desmatamento da vegetação das dunas, o qual é realizado mecanicamente utilizando-se um trator de esteira (Kamatsu). A vegetação extraída permanece sobre o solo para uma posterior remoção juntamente com este. Após, é realizado o desmonte das dunas, levados através de alimentadores de calhas vibratórias até a usina de beneficiamento através de correias transportadoras de 36" de largura. Devido ao minério estar presente em pequenas concentrações por toda a extensão das dunas (aproximadamente 3%), verifica-se o desmonte de toda a duna, fato que causa consideráveis alterações na paisagem.

Após o processo de extração dos minerais pesados, o material restante, chamado de rejeito, é depositado em outros locais na forma de novas dunas, com cerca de 40 metros de altura e 35% de declividade, composto basicamente de areia quartzosa lavada, com níveis desprezíveis de matéria orgânica, sais minerais e sem banco de sementes.

Sendo desprovidas de cobertura vegetal, as dunas de rejeito sofrem ação dos ventos alísios, que propiciam o transporte dos grãos. Isto causa um grande problema de impacto ambiental, pois a areia transportada pode causar assoreamento do rio Guaju como também ampliar a área coberta por estas dunas e comprometer vegetações remanescentes próximas.

Para contornar esses problemas, procedeu-se a recomposição do relevo destas dunas e iniciou-se o processo de recomposição da cobertura vegetal, conforme os seguintes procedimentos:

I - Aplicação de camada de bagaço-de-cana a fim de aumentar o poder de retenção de água pelo solo (operação excluída no atual processo);

II - Espalhamento mecanizado do bagaço-de-cana (operação excluída no atual processo);

III - Aplicação de solo removido da duna a ser minerada de modo a permitir a formação de uma camada de 25 cm em toda a superfície sob recapeamento;

IV - Espalhamento mecanizado do solo em toda a área da duna a ser recapeada;

V - Implantação de quebra-ventos vivos com casuarinas (*Casuarina stricta* e *Casuarina equisetifolia*) a intervalos de 50m (os atuais quebra ventos são constituídos por espécies locais);

VI - Implantação de sistema de irrigação por aspersão em áreas experimentais;

VII - Introdução de espécies nativas herbáceas de maior aptidão a título de reforço e aceleração do processo de fixação;

VIII - Plantio de vegetação arbórea com espécies nativas da região;

IX - Adubação e coroamento das mudas plantadas e/ou surgidas espontaneamente, a cada quatro meses, até que as mesmas atinjam o dobro do tamanho da vegetação concorrente (ruderais herbáceas).

Os trabalhos foram iniciados na estação chuvosa de 1988, na duna de rejeitos nº1 (Sete anos de idade em 1995), com uma área de aproximadamente 5ha, sendo testados dois processos de revegetação. Uma vertente foi revegetada com plantio intercalado e no espaçamento de 0,30 x 0,30m de salsa roxa (*Ipomea pes-caprae* (L.) Sweet) - Convolvulaceae, fava de boi (*Canavalia rosea* (SW.)DC.) - Fabaceae, grama-de-burro (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) e capim gengibre (*Paspalum maritimum* Trin.) - Graminae, com adubação orgânica na cova (bagaço de cana + esterco de gado + turfa). Utilizaram-se propágulos vegetativos de mais ou menos 0,20m, coletados na região. Estas espécies foram escolhidas porque demonstraram, conforme observações realizadas na região, uma grande habilidade para colonizar áreas arenosas perturbadas ou sob as condições de sucessão primária na restinga arenosa.

Na outra vertente foi esparramada, na estação chuvosa de 1989, uma camada de 0,20m de solo de mata (mata de restinga) existente na região. A camada de solo retirada da duna

natural, a ser imediatamente lavrada, corresponde aos primeiros 40 cm, definida em função das análises do solo, pois a partir dessa profundidade a fertilidade com teor de material orgânico é praticamente inexistente.

O espalhamento mecanizado do solo em toda a superfície da duna de rejeito reconstituída, a princípio, mostrou-se bastante dificultoso, visto que as dunas formadas apresentaram taludes com alta declividade (35 a 40%), além da necessidade de construir estradas sobre esse material solto para possibilitar o acesso de caminhões às áreas a serem recuperadas. Nos locais de declividade acentuada adotou-se um sistema de dois tratores de esteiras para o espalhamento do solo. O primeiro trator segue espalhando o solo até a base da duna, e para que este trator volte ao topo da duna, o mesmo é tracionado pelo segundo trator que ficou no topo da duna através de um cabo de aço, possibilitando um espalhamento mais homogêneo em toda superfície da duna.

Este procedimento começou a ser adotado para a empresa devido ao grande sucesso de regeneração de plântulas. Assim, outros procedimentos vieram acompanhando estas etapas como subsídio para recuperação das dunas de rejeito.

As fontes de matéria orgânica utilizadas na área das dunas em recuperação, além do solo superficial original das áreas a serem mineradas e do bagaço de cana, são a turfa e o material proveniente de separadores que operam no final da esteira transportadora do minério. Estes diferentes substratos foram colocados entre 1989 e 1995 (data de coleta das amostras). A partir destas datas, foram efetuadas as seguintes adubações:

- Termofosfato: 23 aplicações de 80 Kg/ha, jogados a lanço, com intervalos de 60 dias, tendo início em outubro de 1989.

- Sulfato de Amônia: 25 aplicações de 50 Kg/ha, jogados a lanço, com intervalos de 60 dias, tendo início em junho de 1989.

- Cloreto de Potássio: 25 aplicações de 50 Kg/ha, jogados a lanço, com intervalos de 60 dias, tendo início em junho de 1989.

- Superfosfato Simples: 23 aplicações de 100 Kg/ha, jogados a lanço, com intervalos de 60 dias, tendo início em novembro de 1989.

- Uréia: 12 aplicações de 50 Kg/ha, jogados a lanço em áreas que receberam apenas bagaço de cana como cobertura, a fim de auxiliar o processo de decomposição do bagaço, tendo início em junho de 1989.

- Extrato de Cálcio: 12 aplicações de 50 Kg/ha, jogados a lanço, tendo início em novembro de 1989.

- NPK 20-10-20: 15 aplicações de 100 Kg/ha, jogados a lanço, tendo início em novembro de 1989.

#### 1.2.1.6 Irrigação

Na formulação inicial do projeto, foi sugerida a implantação do sistema de irrigação porque o substrato, extremamente arenoso, que iria ser vegetado apresentava baixíssima capacidade de retenção de umidade, o que retardaria o processo de recolonização natural e o crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas.

Sobre as dunas de rejeito é utilizado o método de irrigação convencional por aspersão fixa, no qual a água é distribuída sobre o terreno em forma de gotas imitando a chuva. Devido à baixa capacidade de retenção de água pelo solo espalhado nas dunas de rejeitos e ainda considerando-se o déficit hídrico da região (em períodos de quatro a cinco meses no ano), é necessário proceder a irrigação com mais de quatro turnos diários. Já na estação chuvosa, procede-se a irrigação com dois turnos diários com aspersores de baixa vazão. A água utilizada nessa operação é proveniente do efluente líquido da planta de processamento mineral (efluente com menos de 0,05% de sólidos a uma vazão de 200,0 m<sup>3</sup>/h).

#### 1.2.1.7 Quebra ventos

Procurando uma melhor estabilização à cobertura vegetal a ser introduzida nas recentes dunas de rejeito reconstituída, são implantados sistemas de quebra ventos devido a sua grande susceptibilidade através de erosão eólica em áreas frente ao oceano atlântico, evitando que a vegetação em fase de crescimento sofra soterramento, desidratação e danos mecânicos. Assim, são utilizados dois sistemas de quebra ventos: quebra ventos confeccionados com palhas de coqueiro (*Coccus nucifera*) nos pontos de maior incidência dos ventos, normalmente de cinco a sete linhas; e quebra ventos arbóreos através do plantio de casuarinas (*Casuarina equisetifolia* e *Casuarina stricta*), após fileiras de capim napier (*Pennisetum purpureum*) plantado em sulcos. O primeiro sistema de quebra vento é instalado a partir da base da duna reconstituída, com linhas distantes de 30 metros uma da outra no sentido perpendicular à direção predominante dos ventos.



Esse quebra vento possui altura de 1,80 metros com inclinação levemente a favor da direção dos ventos. O segundo sistema é instalado na parte mais plana da duna reconstituída (topo) e disposto com equidistância de 100 metros uns dos outros, e com 14 metros de largura cada.

## 1.2.2 Métodos

### 1.2.2.1 Seleção dos locais de estudo e coleta das amostras de solo

As amostragens foram definidas em função de levantamentos de análise de solos nas dunas em recuperação, bem como da existência de levantamentos florísticos realizados anteriormente nos locais, visando também atender às necessidades de informações sobre perspectivas de revegetação das áreas nas dunas em recuperação frente aos vários procedimentos adotados pela empresa.

As amostras foram coletadas aleatoriamente em perfis localizados em diferentes posições das dunas (terço inferior, médio e superior), bem como em diferentes posições em relação aos ventos predominantes.

Em função das diversas práticas realizadas nas dunas de rejeito, foram selecionados nove locais de amostragem, sendo sete destes definidos conforme a idade de recuperação e pontos que receberam ou não a irrigação por aspersão e dois como testemunhas (Tabela 1.1).

TABELA 1.1. Locais de amostragem para coleta de solo e análise de vegetação em dunas de rejeito de mineração.

Local	Idade (anos) de recuperação em 1995	Irigado (I) Não irrigado (NI)	Simbologia
1	1	NI	1NI
2	3	I	3I
3	3	NI	3NI
4	5	I	5I
5	5	NI	5NI
6	7	I	7I
7	7	NI	7NI
8	Testemunha 1 - Mata de Restinga	-	Mata
9	Testemunha 2 - Tabuleiro	-	Tab.

### **Mata de Restinga (testemunha 1)**

As árvores em geral são baixas, tortuosas e muitas vezes perfiladas e poucas, sendo o extrato herbáceo pouco denso. A perenifolia desta mata, traz para a área um aspecto mais exuberante dentro do complexo ambiental. As principais espécies arbóreas/arbustivas são: *Manilkara salzmanii* (maçaranduba); *Tabebuia roseo-alba* (peroba); *Duguetia gardneriana* (mium); *Ocotea gardneri* (louro); *Myrcia silvatica* (araçá-de-porco); *Xylopia nitida* (camaçari); *Syagrus schisophylla* (aricuri) e *Maytenus erythroxylum* (cunhão de bode). Dentre as herbáceas ocorre *Heliconia angustifolia* (pacovira) e *Chloris inflata* (carrapicho).

A mata de restinga é caracterizada segundo diversos autores (Velo, 1992; Morawets, 1983), por não possuir espécies exclusivas, mas sim por ser constituída de espécies importadas de outras formações vegetais, sendo comum a presença de espécies da mata atlântica, como *Lecythis pisonis* (sapucaia); da caatinga, como *Ziziphus joazeiro* (juazeiro); e do cerrado como *Bowdichia virgilioides* (sucupira) e *Tabebuia impetiginosa* (pau d'arco roxo).

Apesar do substrato apresentar-se ondulado, com elevações e depressões, a altura da cobertura vegetal é uniforme, nivelada pela ação dos ventos (Velo, 1992). As espécies a sotavento diferem das a barlavento por serem mais exuberantes e altas. Na escosta a sotavento as principais espécies são: *Tabebuia impetiginosa* (pau d'arco roxo); *Bowdichia virgilioides* (sucupira); *Buchenavia capitata* (imbridiba); *Luehea paniculata* (pereiro). As principais espécies a barlavento são as seguintes: *Tocoyena selloana* (jenipapo bravo); *Eugenia uniflora* (batinga); *Anarcadium occidentale* (caju); *Tabebuia roseo-alba* (peroba); *Manilkara salzmanii* (maçaranduba); *Coccoloba cordifolia* (garajou) e várias mirtáceas (Oliveira-Filho, 1993).

### **Tabuleiro (testemunha 2)**

Este segundo local foi definido em função de grandes extensões de plantios de cana-de-açúcar (usinas de álcool), com áreas de aproximadamente 1000 a 2000 ha e em confluência com matas de restinga próximas as áreas de mineração, que devido a tratos culturais da própria cultura recebem queimas periódicas antes da colheita.

O critério de seleção deste local, além das características acima citadas, foi o levantamento qualitativo e quantitativo de áreas de tensão ecológica (vegetação de transição). Entre duas ou mais regiões ecológicas ou tipos de vegetação (restinga e tabuleiro), existem sempre, ou pelo menos na maioria das vezes, comunidades indiferenciadas onde as floras se interpenetram constituindo as transições florísticas ou contatos edáficos. O primeiro caso se refere

ao “mosaico específico” ou ao próprio ecótono de Clements (1949). O segundo caso se refere ao “mosaico de áreas edáficas”, onde cada enclave guarda sua identidade ecológica, sem se misturar (Veloso, 1975).

O conceito de tabuleiro varia entre diversos autores, dificultando assim a caracterização dos mesmos. Admite-se que tabuleiros são o tópo da formação Barreiras e, geomorfologicamente, são planaltos pouco extensos, de altitude variando entre poucos até cerca de 200m sôbre o nível do mar. Aceitando-se esse conceito geológico, os tabuleiros só existiriam sobre a formação Barreiras e quando aí ocorressem esses planaltos que os nativos denominam chãs, e quando esses chãs se apresentassem com certa extensão, planas, ligeiramente inclinadas. Assim, logicamente, onde não houvesse formação Barreiras não haveria tabuleiros, mesmo que a altitude, a horizontalidade e a pequena declividade dessem aos topos de certas chapadas o aspecto de tabuleiro. Nessa ordem de idéias não poderia haver tabuleiros na Chapada do Araripe, por se tratar de outra formação geológica. Em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, pelo menos parece-nos válido esse conceito geológico de tabuleiro (Tavares, 1988).

Nos trabalhos de botânica elaborados sem conexão com a geologia, os tabuleiros são descritos como “campos-cerrados”, isto é, lugares planos cobertos de vegetação herbácea com árvores esparsas. Estas são de tronco e ramos predominantemente tortuosos com súber muito espesso, e folhas com caracteres xeromórficos, como parênquimas aquíferos, pelos protetores, raros estômatos situados apenas na face dorsal, etc.

Esse conceito fitogeográfico de tabuleiro é muito mais amplo do que o conceito geológico. Muitas planícies costeiras holocênicas, de solo arenoso semelhante ao das praias, muitos tôpos de chapadas sedimentares calcáreas ou areníticas, muitas áreas de “caatingas” sobre o cristalino, ficariam incluídas nesse conceito de tabuleiro, sinônimo de campo-cerrado (Tavares, 1986).

O tabuleiro apresenta-se como uma ocorrência disjunta dos cercados em áreas de solos Latossólicos, Podzólicos e arenosos, próximas do litoral Nordeste e, em geral, sobre os sedimentos do grupo Barreiras. Na área em estudo encontra-se bem representado na porção oeste e centro-norte, sobre o relevo tabular, e no topo das dunas da porção central. A vegetação caracteriza-se por árvores e arbustos retorcidos distribuídos espaçados ou agrupados com estrato herbáceo contínuo constituído de gramíneas. Os dominantes ecológicos de destaque entre os arbustos árvores são: *Hancornia speciosa* (mangabeira); *Curatella americana* (cajueiro bravo); *Byrsonima cydonifolia* (murici-do-tabuleiro); *Campomanesia dichotoma* (guabiraba); *Guettarda*

*platypoda* (angélica); *Anacardium occidentale* (cajuzeiro); *Hirtella ciliata* (angola); *Abarema cochliocarpa* (barbatimão); *Ouratea cearensis* (batiputá) e *Cupania revoluta* (cabatã). A biodiversidade desse ambiente é mínima, tanto para a fauna como para a flora (Oliveira-Filho, 1993).

A variação de vegetação tipo tabuleiro (savanas) ou tipo mata, em solos aparentemente iguais, depende, ao que tudo indica, da drenagem dos mesmos. Localizam-se os tabuleiros onde, pela falta de drenagem, acumula-se água na estação chuvosa e pela natureza siliciosa do solo, ocorrendo dessecação excessiva na estação seca.

A restinga arbustiva que encontra-se no topo das dunas, jamais se transformará em tabuleiro, devido a fatores adversos como ações eólicas e escassez d'água, o que limitaria o processo sucessivo. Dessa forma, este ambiente pode ser considerado como um enclave dentro das áreas de restinga, com espécies típicas e por vezes endêmicas (Gevertz, 1983).

#### 1.2.2.2 Procedimento de Campo

Em cada local de estudo foram demarcadas aleatoriamente cinco parcelas de 3,0 x 3,0m (9m<sup>2</sup>), onde no centro de cada parcela procedeu-se à marcação de um quadrado de 0,5 x 0,5m (0,25 m<sup>2</sup>) e, dentro deste, coletaram-se a parte aérea e as raízes das plantas até a profundidade de 20 cm. Este material coletado foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 105° C até peso constante, para a obtenção do peso de matéria seca da fitomassa.

Em um dos vértices deste quadrado, para tentar obter informações à respeito de variáveis bioquímicas e populações microbiológicas do solo, antes da vegetação ser retirada, o solo foi amostrado até a profundidade de 20 cm com o auxílio de um trado de 5 cm de diâmetro. Neste ponto coletaram-se duas amostras de solo, sendo uma para as análises físico-químicas e outra para as análises bioquímicas e microbiológicas.

Para a determinação da cobertura vegetal foi avaliado a porcentagem da cobertura vegetal na parcela, conforme metodologia de Braun-Blanquet (1979).

Todas as amostras foram identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas até os laboratórios da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Aquelas destinadas à determinação da biomassa microbiana (C, N, P e esporos de MA's), e atividade de fosfatase (ácida e alcalina), foram armazenadas em temperatura de 4°C durante um período de 30 e 90 dias

respectivamente. As demais foram secas ao ar livre, homogenizadas em peneiradas a 2mm, para posterior análise.

### 1.2.2.3 Determinações Analíticas

As análises físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas foram realizados nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo, sendo realizadas as seguintes análises: pH, acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ), alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), bases trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), potássio disponível ( $K^+$ ), fósforo (P-disponível), enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ), micronutrientes (Zn, Fe, Mn, B e Cu), CTC efetiva, CTC pH 7, soma de bases (S), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), C-orgânico, matéria orgânica, biomassa (C,N,P), atividade de fosfatase ácida e alcalina, densidade de partículas, condutividade elétrica, granulometria (areia, limo e argila) e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA's). Com exceção das determinações dos micronutrientes, P-disponível, C-orgânico, enxofre, atividade de fosfatase, condutividade elétrica, densidade de partículas, granulometria e número de esporos de MA's, as demais, foram desenvolvidas de acordo com métodos descritos no Manual do The Tropical Soil Biology and fertility Programme (Anderson e Ingram, 1992).

O pH foi determinado em água, através da relação 1,0 : 2,5 (solo: água), pelo método proposto por Mclean (1982). A acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) foi determinada de forma indireta, através da solução SMP e quantificada em potenciômetro (Quaggio, Raij e Malavolta, 1985). O alumínio trocável foi extraído com KCl 1N e analisado por titulometria com NaOH 0,025N (Barnhisel e Bertsch, 1982). As bases trocáveis ( $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ) foram extraídas com KCl 1N e determinado por titulometria com EDTA 0,025N (Lanyon e Heald, 1982). O potássio disponível foi obtido com a solução extratora Mehlich I ( $HCl$  0,05N +  $H_2SO_4$  0,025N) e determinado por fotometria de chama (EMBRAPA, 1979).

O fósforo disponível foi quantificado por extração com resina trocadora de íons (Raij, Quaggio e Cantarella, 1987) e determinado por colometria.

O enxofre foi determinado pelo método turbidimétrico descrito por Hoefft, Walsh e Keeney (1973).

O teor de boro disponível foi determinado por extração com água quente e analisado por fotocolometria (Reisenauer, Walsh e Hoefft, 1973). Os demais micronutrientes (cobre, ferro, manganês e zinco) foram extraídos através da solução extratora Mehlich I ( $HCl$

0,05N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N) e analisados em espectrofotômetro de absorção atômica (Raij, Quaggio e Cantarella, 1987).

A CTC efetiva, CTC a pH7, soma de bases, saturação por bases e saturação por alumínio foram calculadas de forma indireta através dos valores de acidez potencial, bases trocáveis e alumínio trocável.

O carbono orgânico foi determinado pelo método colorimétrico com digestão por bicromato de sódio (Raij, Quaggio e Cantarella, 1987). Indiretamente, através da quantificação do carbono, procedeu-se o cálculo da matéria orgânica presente no solo.

Amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) após dispersão mecânica e com NaOH 0,1N, foram separadas em peneira de 0,053mm de malha, para a determinação da percentagem de areia total. O teor de argila foi determinado através do método do densímetro de Boyoucos modificado (Carvalho, 1985). O teor de silte foi obtido pela diferença entre areia e argila. A fração areia total foi fracionada através de agitador lateral, em conjunto de peneiras de 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105mm, sendo as diferentes frações obtidas por pesagem.

A densidade de partículas (Dp), expressa em g.cm<sup>3</sup>, foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool etílico (EMBRAPA, 1979).

A condutividade elétrica, expressa em mmhos/cm, foi determinada a uma temperatura de 25°C, caracterizada através do extrato de saturação (CE<sub>es</sub>), segundo os métodos propostos pela EMBRAPA (1979).

Para determinar a ocorrência e quantificar o número de esporos como potencial de inóculo nos diferentes sistemas de recuperação de dunas, tabuleiro e restinga, as mesmas amostras de solo coletadas para determinações bioquímicas foram analisadas através de alíquotas de 10cm<sup>3</sup> para cada condição e repetição, realizando a contagem do número de esporos. Apenas os esporos com paredes sem danificação foram contados, desconsiderando aqueles quebrados e sem formato definido, descrevendo-os a nível de gênero e quando possível espécie.

Para extração e isolamentos dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA's), o solo coletado foi preparado pela técnica de lavagem, decantação e peneiramento por via úmida (Gerdeman e Nicolson, 1963). Os esporos foram transferidos para placas de petri e examinadas sob microscópio estereoscópico.

A biomassa microbiana foi determinada para C, N e P. Na determinação do C-biomassa microbiana foi empregado o método da fumigação-extração direta, proposto por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). A extração do carbono orgânico com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M, foi seguida por

digestão Walkey-Black modificada. A biomassa, representada pelo carbono microbiano, foi estimada pela fórmula:

$$BC = Ce \times 2,64$$

onde:

BC = Carbono da Biomassa Microbiana ( $\mu\text{g/g}$ )

Ce = Carbono Extraído (C Solo Fumigado - C Solo Não Fumigado)

2,64 = Fator de Conversão de C Extraído em Biomassa Microbiana.

O nitrogênio da biomassa microbiana foi estimado pelo método fumigação-extração direta, proposto por Brookes et al (1985). O nitrogênio total, de amostras de solo fumigado e não fumigado, foi extraído com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,5M e determinado por digestão Kjeldahl (Anderson e Ingram, 1992). A biomassa microbiana foi calculada por:

$$BN = Ne \times 2,22$$

onde:

BN = Nitrogênio da Biomassa Microbiana ( $\mu\text{g/g}$ )

Ne = Nitrogênio Total Extraído (N Solo Fumigado - N Solo Não Fumigado)

2,22 = Fator de Conversão do N Extraído em Biomassa Microbiana

O fósforo da biomassa microbiana foi quantificado de acordo com Brookes, Powlson e Jenkinson (1982), através da fumigação extração direta. O fósforo inorgânico foi extraído com  $\text{NaHCO}_3$  0,5M, pH 8,5 e determinado por colorimetria (Anderson e Ingram, 1992). A biomassa microbiana de P foi estimada por:

$$BP = Pe \times 2,50$$

onde:

BP = Fósforo da Biomassa Microbiana ( $\mu\text{g/g}$ )

Pe = P Inorgânico Extraído (P Solo Fumigado - P Solo Não Fumigado)

2,50 = Fator de Conversão de P em Biomassa Microbiana

A atividade de fosfatase ácida e alcalina, foi estimada a partir de amostras de solo de 0,2g com base no procedimento de Tabatabai e Bremner (1969), com as seguintes modificações sugeridas por Nahas, Centurion e Assis (1994), a concentração dos substratos foi de

30mM e os tampões utilizados foram acetato 0,1M a pH 5,4 e glicina 0,03M a pH 9,0. Os resultados foram expressos em micrograma de p-nitrofenol liberado por hora em 1g de solo. A unidade da atividade enzimática correspondeu à quantidade de enzima que produz 1,0 µg de p-nitrofenol/minuto.

#### 1.2.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos nas amostragens (repetições) de cada local (Tabela 1.1), foram submetidos à análise de variância, conforme o delineamento estatístico inteiramente casualizado.

As comparações de médias variáveis de solo entre os diferentes locais amostrados foram feitas por meio de teste de Tukey-Kramer - HSD (Honestly Significant Difference) a nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico JMP (SAS Institute, 1991).

Para verificar possíveis interrelações entre os parâmetros físicos, químicos, bioquímicos e microbiológicos do solo em relação aos diferentes ecossistemas estudados, utilizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA), através do programa FITOPAC, que apresenta as correlações na forma de vetores, representando os graus de correlação de cada uma das variáveis com cada um dos eixos de ordenação. O primeiro eixo de ordenação representa o primeiro componente, o qual teve as contribuições mais altas para a variância total do conjunto de variáveis ambientais. As variáveis cujos vetores têm as maiores projeções neste eixo, são mais importantes para tentar explicar ou interpretar as interrelações nele resumidas. O comprimento do vetor representa a importância daquela variável na variação dos dados naquela direção (Kent e Coker, 1992).

A matriz inicial composta pelos dados originais, após uma PCA preliminar, foi transformada em uma matriz de componentes, com um número reduzido de variáveis ambientais, as quais foram: fósforo, potássio, soma de bases trocáveis, saturação do alumínio da CTC efetiva, carbono orgânico, areia, limo, argila, zinco, manganês, boro, número de esporos de micorrizas vesículo arbusculares (MA's) e atividade específica de fosfatase ácida, com o intuito de minimizar redundâncias e aumento dos cálculos, com prejuízo para a compreensão dos resultados mais significativos. A matriz inicial foi reduzida a "scores" ou pontuações de ordenação nos componentes correlacionados (Kent e Coker, 1992).



## 1.3 RESULTADOS

### 1.3.1 Peso da matéria seca da fitomassa e cobertura vegetal

O peso seco da fitomassa (Figura 1.2), constituída pela parte aérea e raízes das herbáceas e arbustos, variou significativamente entre os diferentes locais em fase de recuperação. O menor peso foi verificado na área com um ano de recuperação.

A Figura 1.3 evidencia que a irrigação promoveu um maior grau de cobertura vegetal, principalmente nos locais com três e cinco anos de idade, porém sem que isso resultasse num aumento significativo da fitomassa.

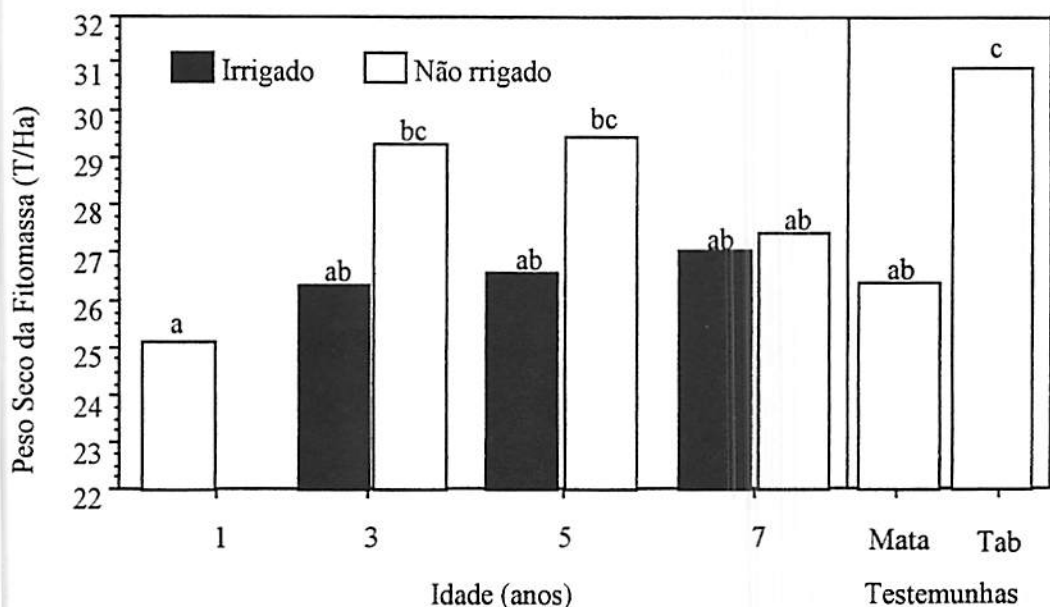


FIGURA 1.2. Peso médio da matéria seca da fitomassa (herbáceas e arbustos) em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades e em condição irrigada e não irrigada. Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD) ( $P < 0,05$ ).

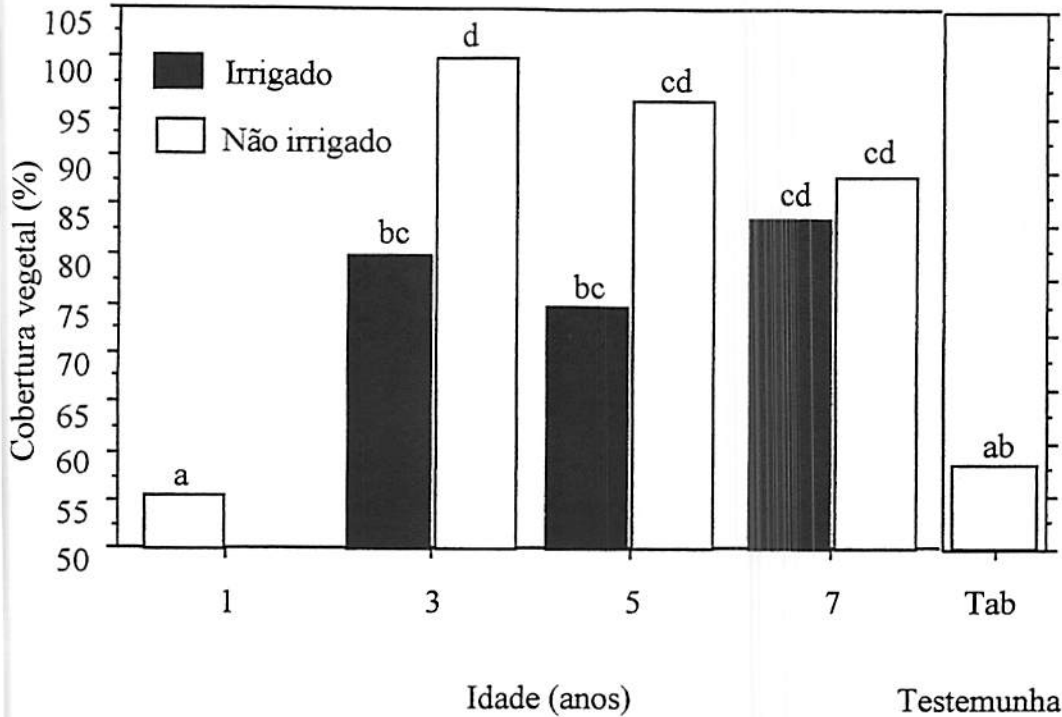


FIGURA 1.3. Valores médios da percentagem de cobertura vegetal de solo de dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades e em condição irrigada e não irrigada. Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD) ( $P < 0,05$ ).

### 1.3.2 Características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo

Os resultados das comparações das variáveis químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo através da análise de variância e do teste de Tukey-Kramer (HSD) encontram-se na Tabela 1.2. Em relação as características químicas, a média do pH das áreas amostradas não diferiram significativamente entre si, apresentando valores entre 5,1 e 5,8 nos nove locais amostrados. Os teores de alumínio trocável foram superiores sob tabuleiro e restinga (Figura 1.4).

O teor de cálcio (Figura 1.5), apresentou diferenças significativas entre dunas com sete anos irrigada e não irrigada. O magnésio não apresentou diferenças significativas entre os locais amostrados. O potássio, apesar de não apresentar diferenças significativas entre os locais pelo teste de Tukey-Kramer (HSD), caracteriza-se pelas baixas concentrações quando em condições de irrigação, exceto para dunas com sete anos de recuperação (Tabela 1.2).

TABELA 1.2. Propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas de solos sob vegetação de mata de restinga, tabuleiro e dunas em recuperação em Mataraca - PB. (média ± desvio padrão).

Propriedades	Restinga	Tabuleiro	1 ano NI	3 anos I	3 anos NI	5 anos I	5 anos NI	7 anos I	7 anos NI
Argila (%)	1,60±1,14a	5,20±1,92ab	2,20±1,09a	1,80±0,45a	4,60±1,82ab	5,00±1,58ab	6,00±0,40b	4,80±0,45ab	3,80±0,84ab
Limo (%)	1,0±1,0a	4,2±2,17b	0,4±0,55a	0,8±0,83a	0,4±0,55a	0,6±0,55 a	2,2±2,04ab	0,6±0,89a	0,4±0,55a
Areia (%)	97,4±0,89c	90,6±3,78a	97,4±0,89c	97,4±0,55c	95,0±1,58bc	94,4±1,34bc	91,8±5,36b	94,6±1,14abc	95,8±0,84bc
pH	5,18±0,35	5,42±0,39	5,68±0,19	5,72±0,08	5,80±0,21	5,60±0,41	5,64±0,32	5,52±0,29	5,58±0,40 (1)
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol(ε)/dm <sup>3</sup> )	3,64±1,03	2,72±0,65	2,06±0,17	1,86±0,22	2,32±0,46	2,32±0,96	2,72±1,01	2,46±0,43	2,16±0,16 (1)
Al <sup>3+</sup> (cmol(ε)/dm <sup>3</sup> )	0,28±0,16bc	0,36±0,15c	0,12±0,45ab	0,16±0,55ab	0,10±0a	0,12±0,45ab	0,12±0,45ab	0,10±0a	0,24±0,89abc
Ca <sup>2+</sup> (cmol(ε)/dm <sup>3</sup> )	0,84±0,21ab	0,68±0,38a	1,40±0,55abc	1,22±0,52abc	1,62±0,31bc	0,96±0,22ab	1,24±0,40ab	2,02±0,38c	0,80±0,37a
Mg <sup>2+</sup> (cmol(ε)/dm <sup>3</sup> )	0,48±0,21	0,20±0,07	0,38±0,16	0,38±0,16	0,20±0,12	0,40±0,19	0,48±0,23	0,48±0,32	0,24±0,11 (1)
K <sup>+</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	13,0±2,0	19,2±10,78	9,0±3,67	17,8±11,48	21,4±7,02	8,8±2,49	20,6±7,54	15,6±5,59	9,0±4,74 (1)
CTC-efetiva (cmol(ε)/dm <sup>3</sup> )	1,70±0,27ab	1,30±0,35a	1,94±0,54ab	1,84±0,65ab	2,06±0,44ab	1,50±0,37a	1,96±0,59ab	2,70±0,64b	1,28±0,56a
CTC-pH7 (cmol(ε)/dm <sup>3</sup> )	5,06±0,73	3,66±0,61	3,88±0,71	3,56±0,87	4,26±0,67	3,70±1,19	4,56±1,56	5,04±0,72	3,22±2,05 (1)
Soma bases (cmol(ε)/dm <sup>3</sup> )	1,42±0,40a	0,94±0,47a	1,82±0,58a	1,70±0,67ab	1,94±0,46ab	1,38±0,38a	1,84±0,62ab	2,58±0,66b	1,06±0,47a
Saturação por bases (%)	28,6±11,33ab	25,8±12,52a	46,0±6,89bc	45,6±9,40bc	45,2±7,19bc	39,2±7,95abc	40,0±6,04abc	50,4±8,23c	35,6±7,02abc
Saturação por Al <sup>3+</sup> (%)	18,0±11,62ab	30,8±115,61b	7,0±5,1a	9,8±8,11a	6,2±3,35a	8,2±3,56a	7,2±4,97a	4,8±2,49a	17,4±6,47ab
B (mg/dm <sup>3</sup> )	0,25±0,04bc	0,19±0,05abc	0,24±0,05bc	0,18±0,03ab	0,2±0,05abc	0,16±0,04ab	0,2±0,03abc	0,28±0,06c	0,12±0,03a
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	42,56±23,82	72,36±32,40	57,58±3,79	55,92±14,39	73,98±32,71	83,30±57,39	73,54±22,97	103,88± 56	53,96±41,26 (1)
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	5,26±3,59ab	0,72±0,45a	5,92±2,11ab	5,00±2,24b	5,1±1,0ab	4,88±3,25ab	8,69±5,0b	5,84±1,9ab	6,55±3,46ab
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	1,06±0,15 ab	1,24±0,27ab	1,38±0,36abc	1,38±0,19abc	2,18±0,43c	1,44±0,29abc	3,04±0,79d	1,98±0,3bc	1,28±0,22ab
S (mg/dm <sup>3</sup> )	8,64±1,54	8,26±1,28	8,53±2,22	9,51±1,47	9,78±2,00	8,28±2,03	5,30±1,24	10,73±2,76	5,59±0 (1)
Carbono orgânico (g/Kg)	12,40±1,14	6,80±1,92	11,80±2,49	8,40±1,95	9,80±1,79	11,20±6,14	13,80±5,73	13,80±3,90	9,80±7,85 (1)
Matéria orgânica (g/Kg)	21,40±1,14	11,80±3,56	20,40±4,22	14,60±4,04	17,00±3,39	19,20±10,64	23,0±9,08	24,20±6,46	16,30±13,80 (1)
P - disponível (mg/dm <sup>3</sup> )	2,40±0,55a	4,80±2,17ab	2,20±0,45a	2,80±1,09a	4,00±2,00a	2,60±1,14a	4,40±1,52ab	7,80±2,1bc	9,00±2,45c
Dens. Partícula (g/cm <sup>3</sup> )	2,75±0,02	2,67±0,03	2,77±0,15	2,76±0,11	2,81±0,11	2,73±0,07	2,76±0,02	2,68±0,05	2,72±0,09 (1)
Condut. Elétrica (ds/m)	23,80±4,32	17,60±3,78	16,20±3,42	22,40±5,90	27,60±11,1	18,60±8,62	30,20±11,1	38,40±28	15,80±5,80 (1)
C-biom. Microbiana (µg/g)	121,86±129,32	103,16±31,12	204,16±129,1	187,56± 179	170,22± 93	127,3±102	180,59±100	221,76±202	117,06±92,67 (1)
N-biom. Microbiana (µg/g)	20,128±15,44	11,84±14,50	11,84±11,84	11,84±8,37	0±0	4,74±6,48	0±0	5,92±7,25	0±0 (1)
P-biom. Microbiana (µg/g)	4,08±3,09	1,70±2,41	1,36±1,42	1,02±1,52	2,38±1,94	2,38±2,28	1,70±2,41	0,68±1,52	0,68±1,52 (1)
Nº esporos MA (10 cm <sup>3</sup> )	46,8±23,2a	55,6±41,7a	48,0±16,0a	51,8±7,3a	55,2±11,5a	132,6±21bc	156,4±69,4c	71,6±26,3b	45,2±16,7a
Atividade fosfatase ácida (µg pNF <sup>(2)</sup> /g/h)	668,11	142,71	352,58	187,5	417,28±	364,22±	401,62±	256,19±	140,79±
	±106,71c	±38,63a	±184,88ab	±105,86ab	94,46bc	209,65ab	149,94abc	65,23ab	104,82a

(1) Propriedades que não foram significativamente diferentes entre locais na ANOVA.

(2) p - Nitrofenol.

Médias com a mesma letra no sentido das linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer HSD (P < 0,05).

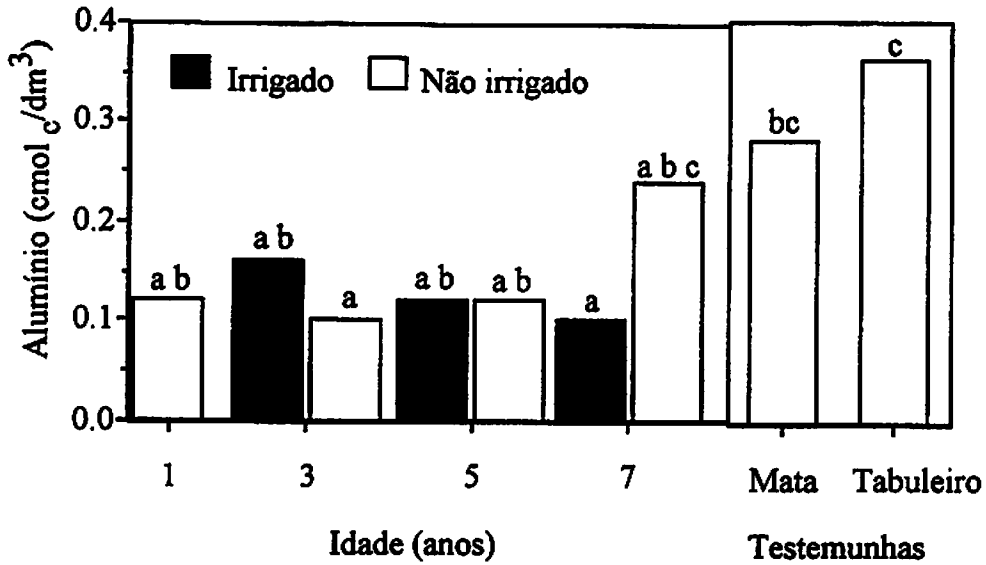


FIGURA 1.4. Valores médios de alumínio trocável em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

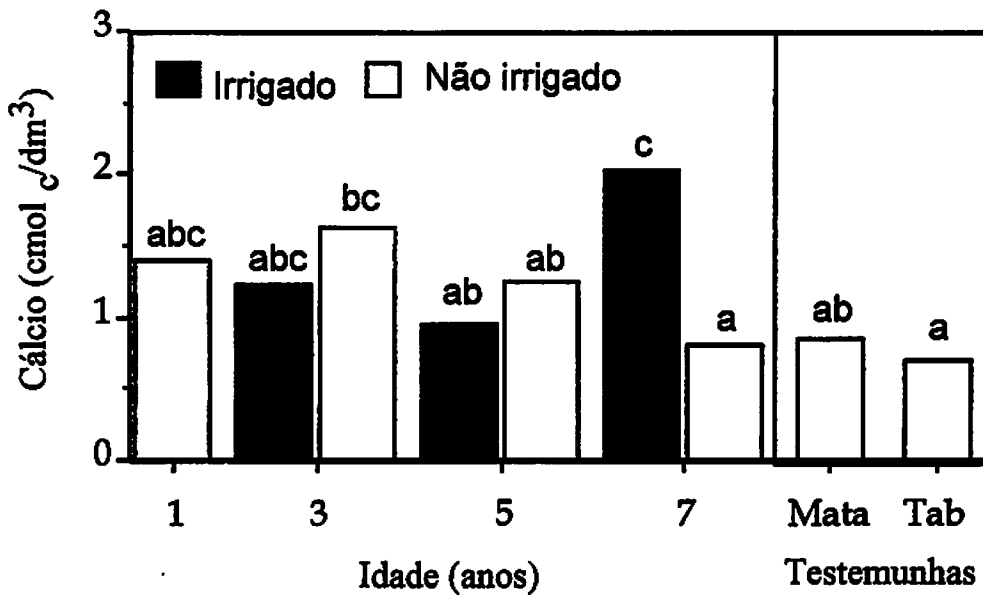


FIGURA 1.5. Valores médios de cálcio em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

A CTC-efetiva (Figura 1.6), teve uma tendência de superioridade somente para as áreas com sete anos e irrigadas, observando-se esta mesma tendência para soma de bases trocáveis (Figura 1.7). A saturação por bases foi mais elevada nos solos de áreas com sete anos irrigado e menor em áreas de tabuleiro (Figura 1.8). Enquanto a saturação por alumínio foi maior no sistema não irrigado aos sete anos (Figura 1.9).

Para sódio não foi possível ser detectado níveis comparativos, verificando-se somente traços nas análises, sendo que a mesma tendência foi observada para os níveis de cobre. Os teores de boro foram superiores para as áreas de sete anos e irrigada (Figura 1.10). Já para os teores de zinco as variações foram significativas, principalmente entre a área com cinco anos não irrigada e as demais áreas. Nesta primeira, os teores de zinco foram relativamente mais elevados (Figura 1.11).

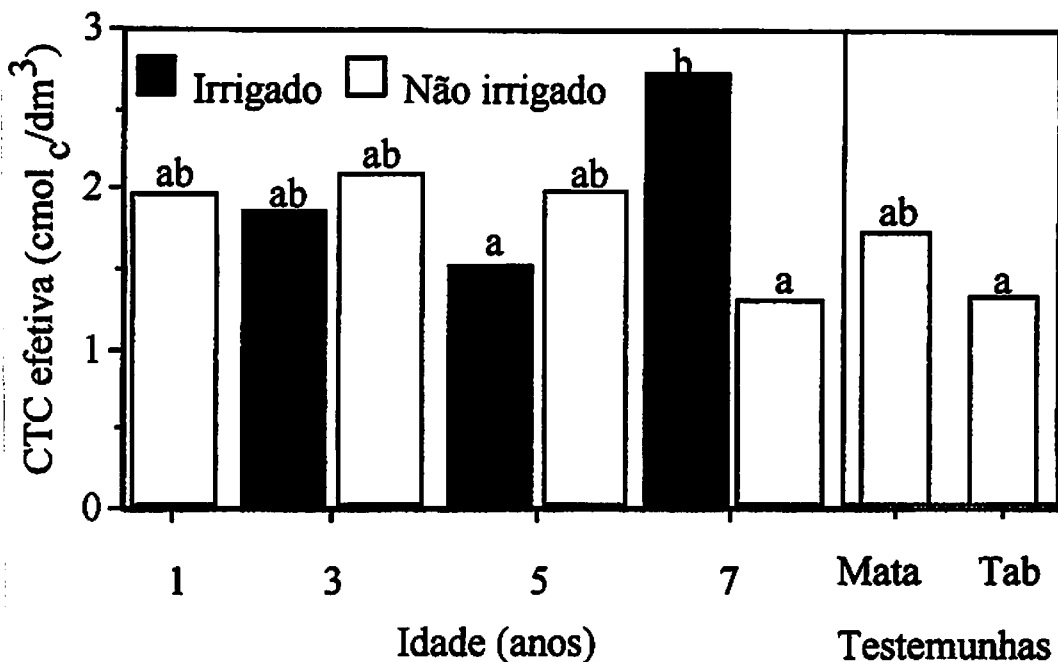


FIGURA 1.6. Valores médios da CTC efetiva em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

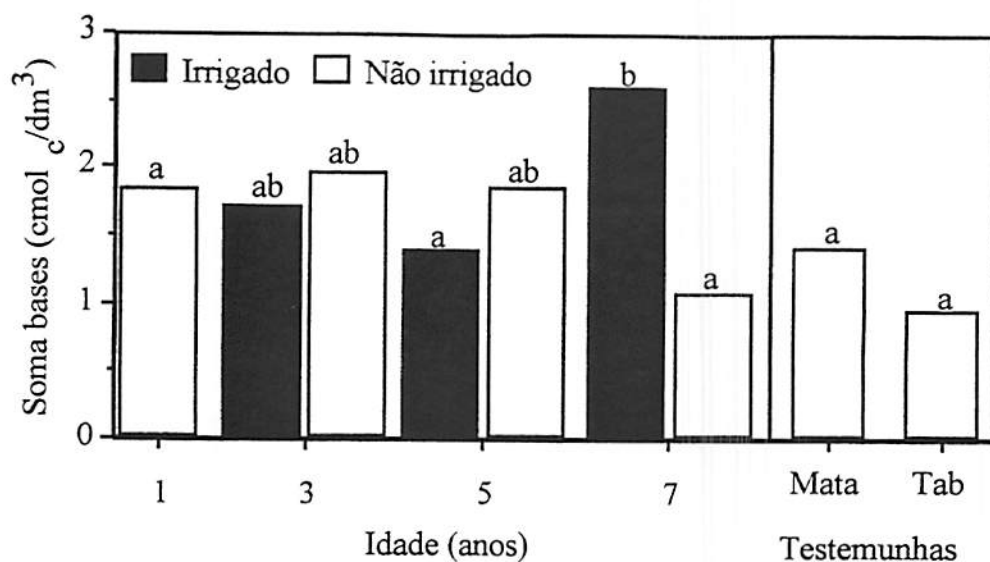


FIGURA 1.7. Valores médios de soma de bases em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

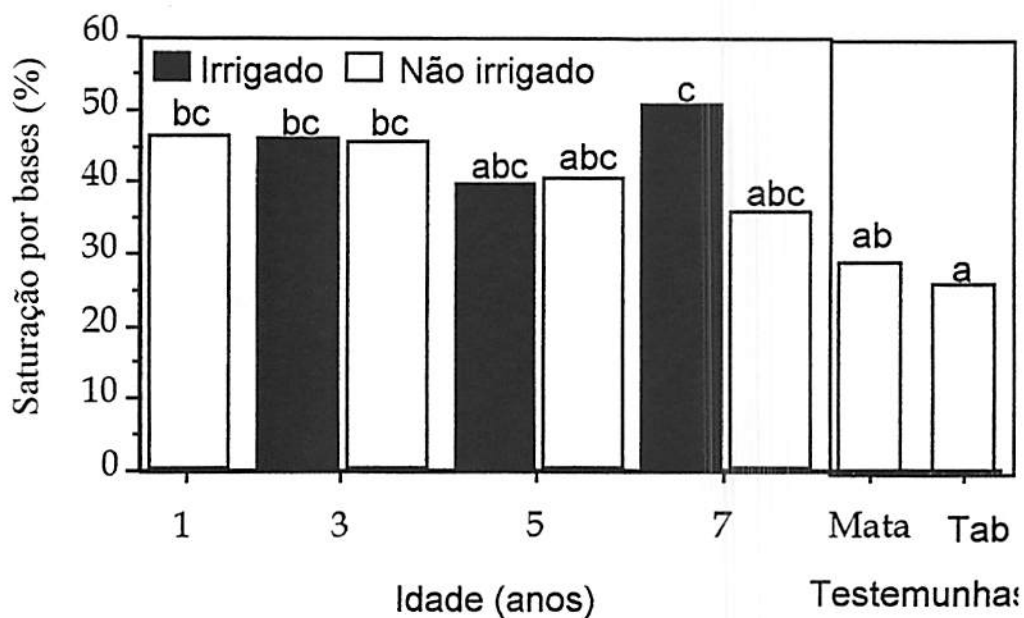


FIGURA 1.8. Valores médios de saturação por bases em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

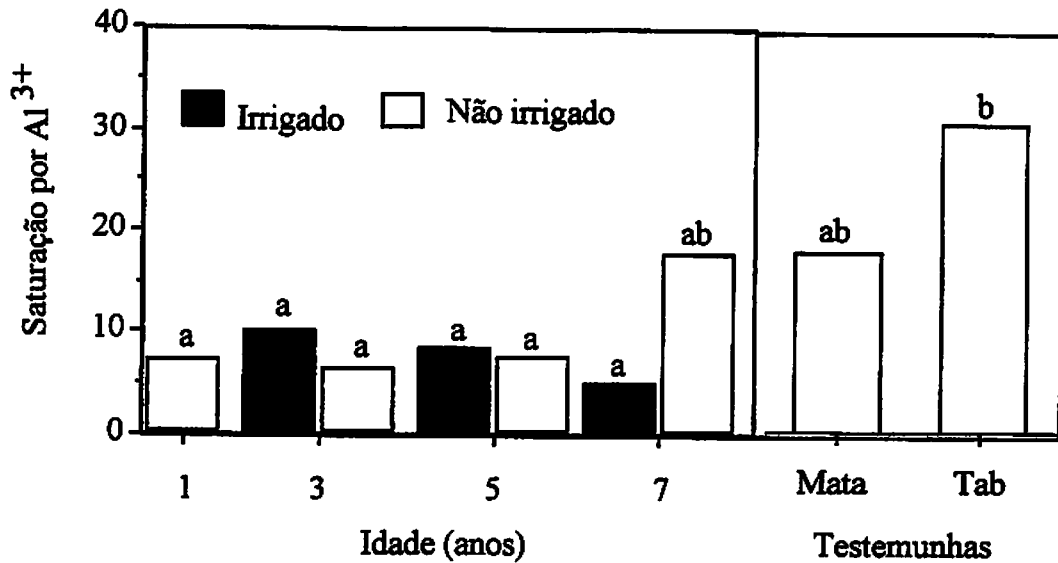


FIGURA 1.9. Valores médios de saturação por alumínio em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

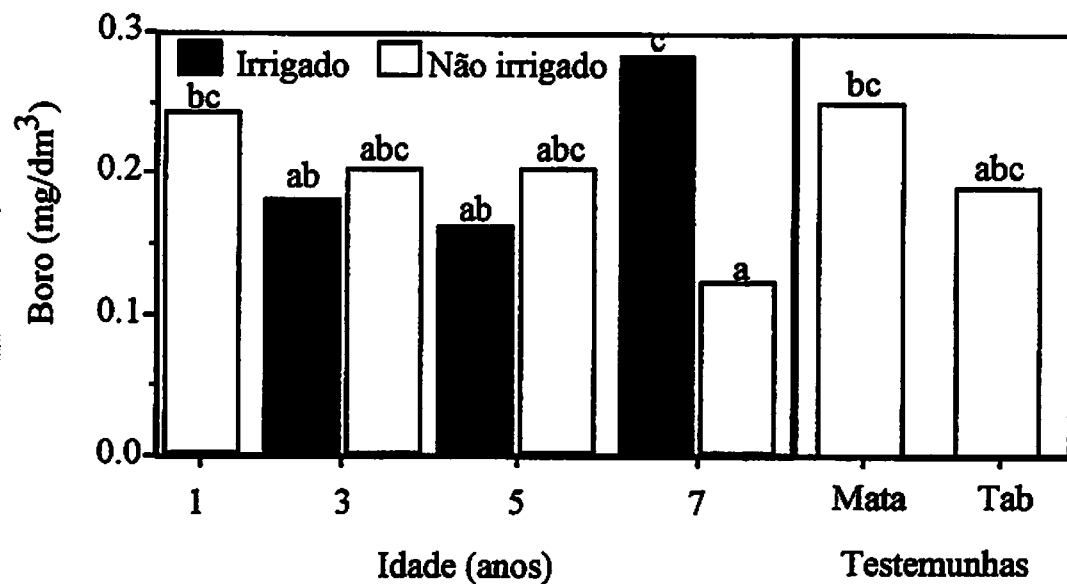


FIGURA 1.10. Valores médios das concentrações de boro em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).



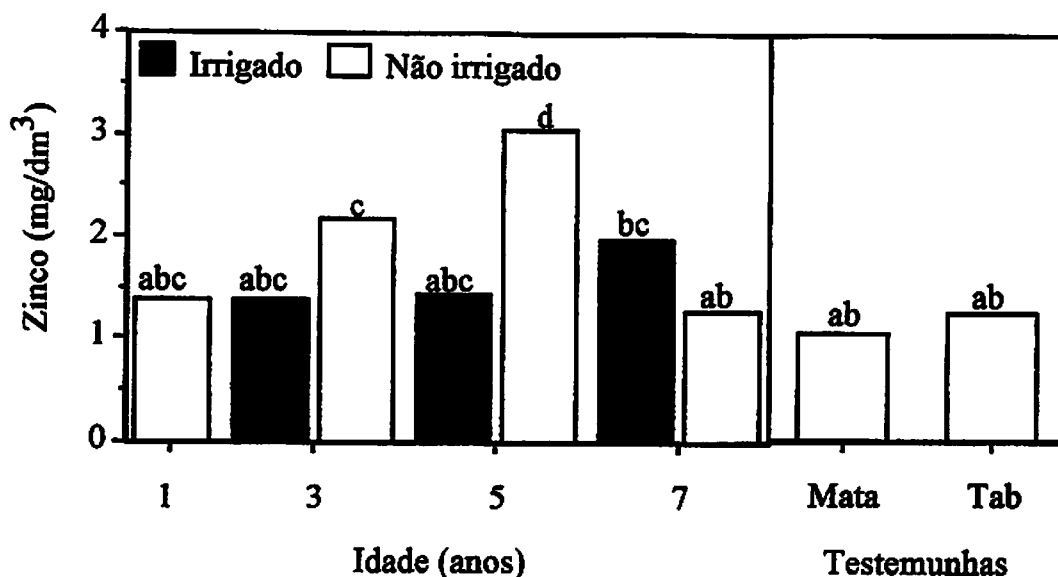


FIGURA 1.11. Valores médios das concentrações de zinco em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

Para a condutividade elétrica verifica-se que as áreas em estudos enquadram-se como moderadamente salinos (8-16 ds/m) em áreas de mata de tabuleiro, um ano não irrigado e sete anos sem irrigação, à fortemente salinos ( $\geq 16$  ds/m), principalmente nas áreas em recuperação e sem irrigação (Vaughan, 1993).

A variação da concentração de ferro nos ambientes estudados apesar de ter sido não significativo pela análise de variância, mostrou-se bastante variável, sendo mínima na condição de mata e máxima na área com sete anos de idade e irrigada (Tabela 1.2).

No caso do manganês, suas concentrações foram menores para áreas de tabuleiro (Figura 1.12).

Os teores de enxôfre não foram significativamente diferentes entre as áreas sob recuperação e as áreas testemunhas pelo teste de Tukey-Kramer (HSD), havendo uma tendência nas áreas de cinco e sete anos, ambas não irrigadas, de uma concentração bem menor que outras áreas (Tabela 1.2).



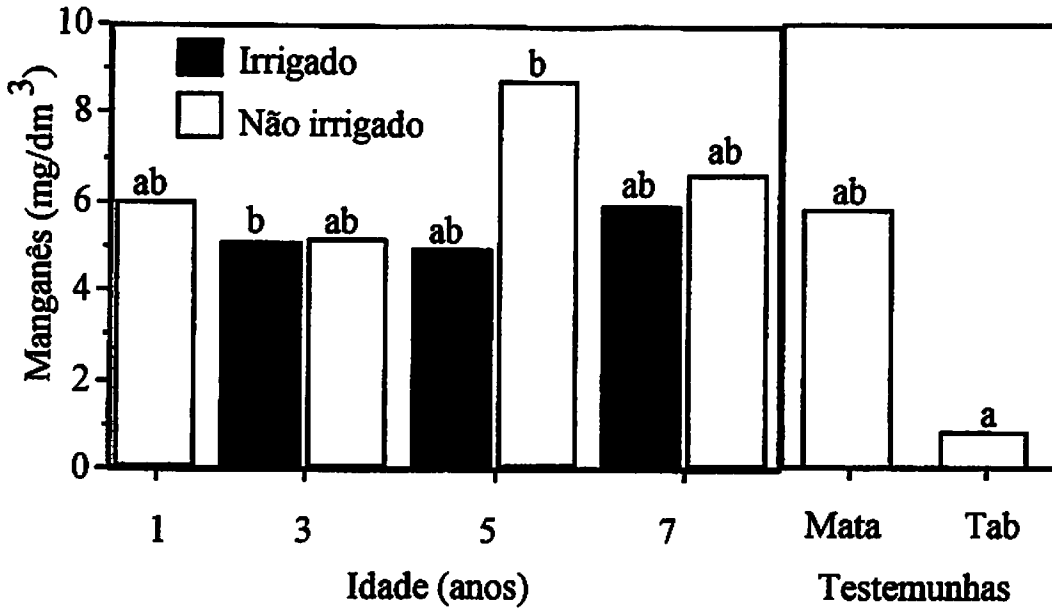


FIGURA 1.12. Valores médios das concentrações de manganês em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

Os conteúdos de carbono orgânico e matéria orgânica apesar de não diferirem entre si pelo teste de Tukey-Kramer, apresentaram valores menores para áreas de tabuleiro, característicos do próprio tipo de ambiente estudado. Os teores de matéria orgânica nas áreas com sete anos foram mais expressivos na condição de irrigação (Tabela 1.2).

Os teores de fósforo disponível nas áreas em recuperação apresentaram-se inferiores com um ano, crescentes nas áreas de três e cinco anos, porém não diferindo significativamente da primeira e diferindo significativamente das áreas com sete anos (Figura 1.13).

As variáveis carbono, fósforo e nitrogênio da biomassa não apresentaram diferenças significativas entre os locais amostrados, sendo que o mesmo comportamento foi verificado para a densidade de partículas e condutividade elétrica (Tabela 1.2).

A atividade específica de fosfatase ácida foi significativamente superior no solo proveniente da mata de restinga. Já para a atividade específica de fosfatase alcalina verificou-se a mesma tendência ocorrida para os teores de sódio e cobre, onde foram detectados somente traços em todos os locais amostrados (Figura 1.14).

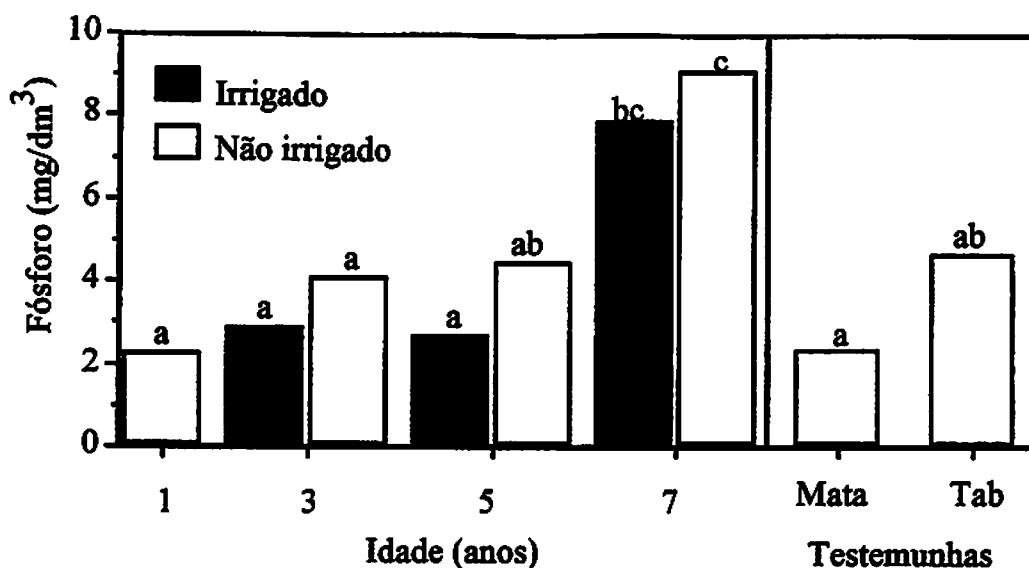


FIGURA 1.13. Valores médios das concentrações de fósforo disponível em dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

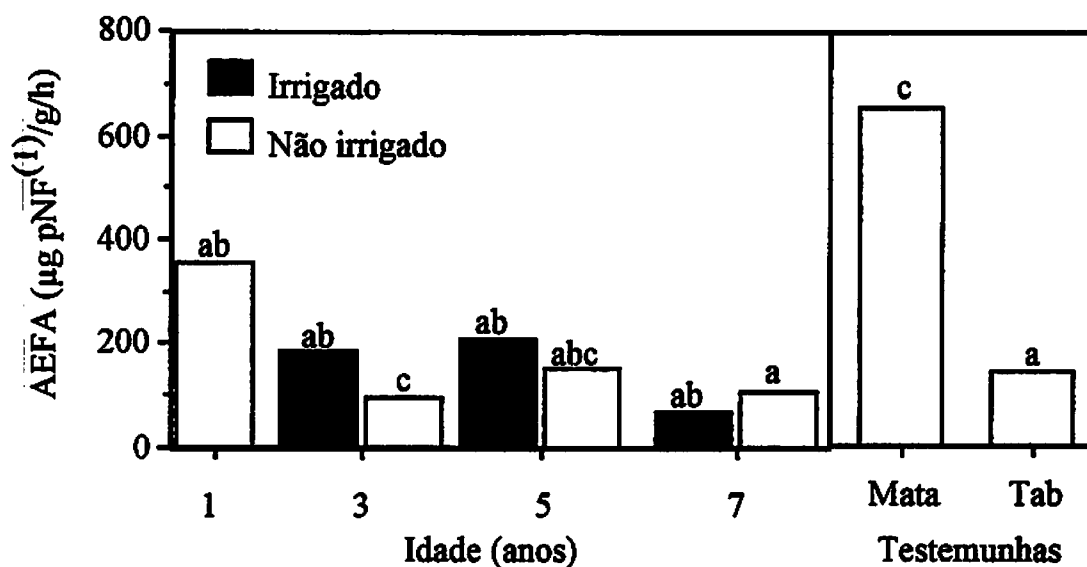


FIGURA 1.14. Valores médios da atividade específica de fosfatase ácida em solos de dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

O número de esporos de micorrizas vesiculares arbusculares (MA's) apresentou uma maior quantidade nas áreas com cinco anos de recuperação, (Figura 1.15), sendo que em relação a distribuição de MA's em função da rizosfera em cada local amostrado, verificaram-se, quatro gêneros e duas espécies destes fungos, demonstrando também que *Glomus* sp, *Gigaspora* sp e *Scutellospora* sp foram os gêneros que ocorreram em quase todos os ambientes.

Entre as variáveis granulométricas a areia apresentou diferenças significativas, sendo inferior para áreas de tabuleiro. Para argila e limo, as áreas com cinco anos e sem irrigação foram significativamente superiores a mata de restinga, um ano não irrigado e três anos irrigada para a primeira, sendo que para a segunda, o tabuleiro, foi superior aos demais locais amostrados, provavelmente devido as consequências do preparo das dunas em recuperação (Tabela 1.2).

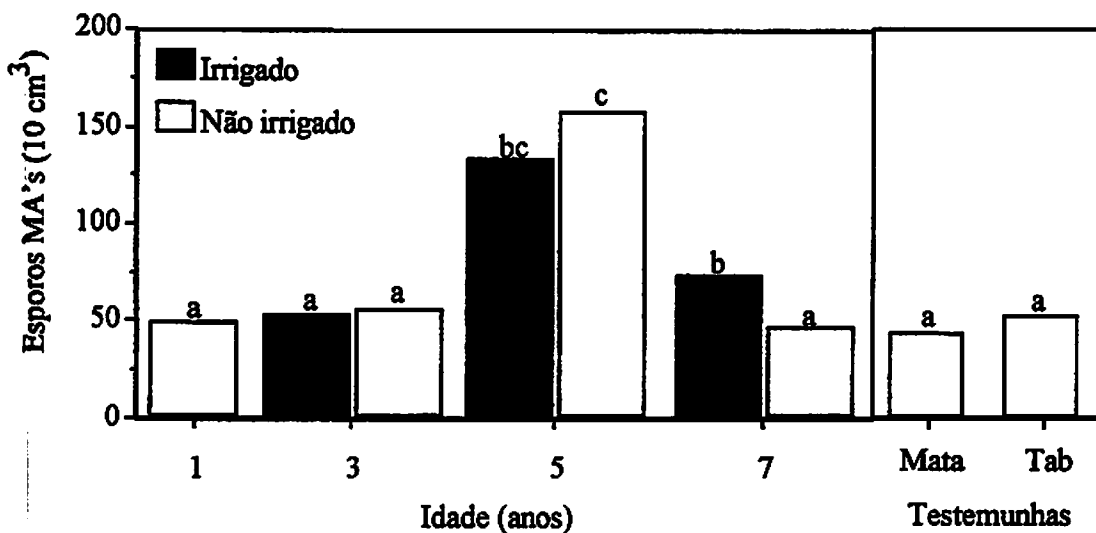


FIGURA 1.15. Valores médios do número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA's) em solos de dunas de rejeito sob processo de recuperação, em diferentes idades, condição de irrigação e em sítios adjacentes (testemunhas). Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (HSD  $P < 0,05$ ).

### 1.3.3 Análise de Componentes Principais (PCA)

As correlações entre os ecossistemas estudados e as variáveis ambientais (variáveis contínuas), obtidas pela aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA), estão representadas na Figura 1.16.

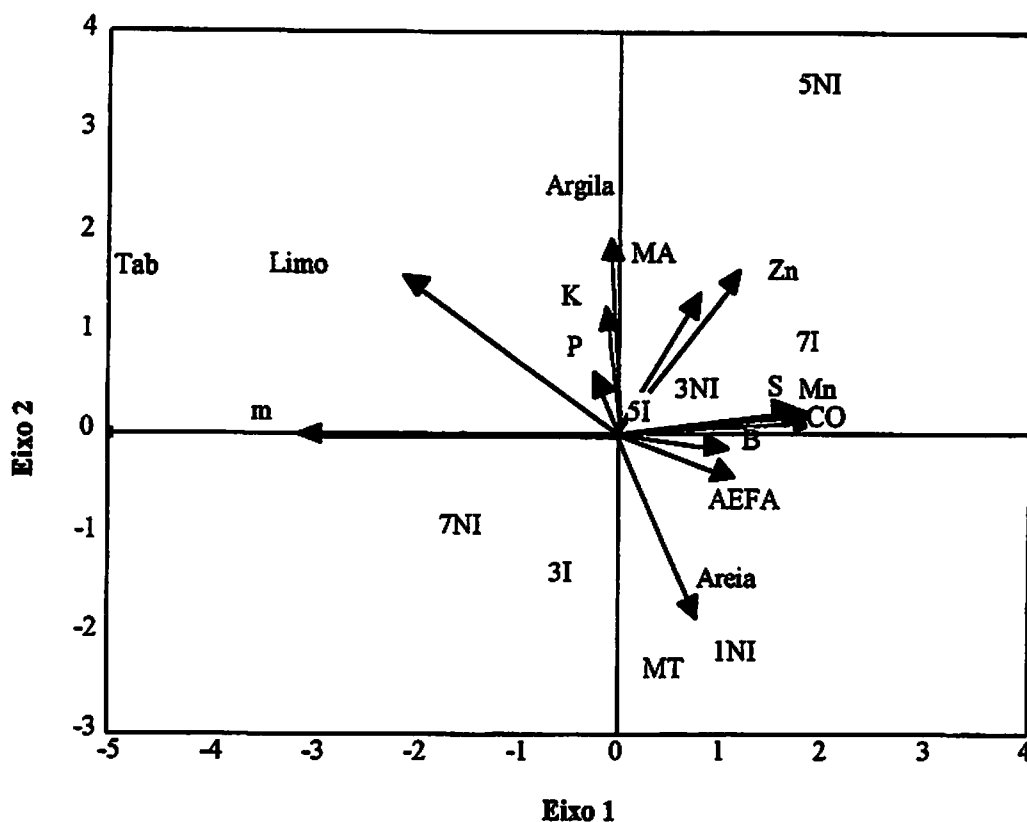


FIGURA 1.16. Análise de Componentes Principais (PCA): diagrama de ordenação conjunta dos ecossistemas - variáveis nominais (MT=Mata, Tab=Tabuleiro, 1NI=1 ano não irrigação, 3I=Três anos irrigado, 3NI=Três anos não irrigado, 5I=Cinco anos irrigado, 5NI=Cinco anos não irrigado, 7I=Sete anos irrigado, 7NI=Sete anos não irrigado) - e fatores ambientais - variáveis contínuas (→). Os autovalores dos dois primeiros eixos foram 4,42 e 3,61, respectivamente. A variância percentual acumulada pelos mesmos eixos foi de 61,87%. C.O. = carbono orgânico, S = soma de bases trocáveis, m = saturação do alumínio da CTC efetiva, (P, K, Mn, B) = parâmetros químicos estudados, AEFA = atividade específica de fosfatase ácida, MA = número de esporos de micorrizas vesicular arbusculares, ARG = argila, AR = areia, LI = limo.

A variância total, somada nos dois primeiros eixos de ordenação, representa 61,87% da explicação para as variáveis ambientais. Os autovalores para o eixo 1 e 2 são 4,42 e 3,61 respectivamente.

Observa-se que os ecossistemas com sete anos irrigado, três anos sem irrigação, cinco anos irrigado ou não, um ano sem irrigação e mata de restinga (Figura 1.16) estão mais próximos entre si do que os outros ecossistemas, particularmente vistos sob o prisma do eixo 1, que resume a maior parte da variância total.

O ecossistema com sete anos e com irrigação, por suas características ambientais, encontra-se mais distante do ponto zero, no lado direito do eixo 1. As variáveis ambientais contínuas que mais fortemente se correlacionam com esta situação, são: carbono orgânico, soma de bases trocáveis e manganês. A saturação por alumínio da CTC efetiva e concentrações de limo, apresentando correlação negativa. As outras variáveis ambientais, cujos vetores apresentam-se próximos deste ecossistema são zinco, número de esporos de micorrizas vesicular arbusculares (MA's), atividade específica de fosfatase ácida e boro, os quais porém, oferecem menor contribuição para explicar a sua variância.

Da situação de tabuleiro, por meio de posicionamento dos vetores, observa-se que a mesma está correlacionada, em ordem de importância, com as seguintes variáveis contínuas: saturação por alumínio da CTC efetiva, limo, argila, potássio e fósforo.

## **1.4 DISCUSSÃO**

### **1.4.1 Peso da matéria seca da fitomassa e cobertura vegetal**

O peso seco da fitomassa de herbáceas e arbustos na mata apresenta um menor valor, devido a vegetação neste local ser constituída basicamente por árvores de grande porte, neste caso a amostragem realizada propiciou obtenção do peso de poucas herbáceas e arbustos mais tolerantes ao sombreamento. O menor peso seco verificado na área com um ano de recuperação, devido a falta de cobertura vegetal está associado ao próprio início de processos de recuperação de áreas degradadas, que é o estabelecimento de várias práticas de recobrimento rápido das dunas.

A irrigação favoreceu o surgimento de um número mais amplo de espécies e famílias de plantas, que são necessárias ao alcance do objetivo da primeira etapa de revegetação, que é o favorecimento à ocorrência de um grande número de espécies potenciais, para promover um acelerado processo de revegetação, para assim propiciar um maior e mais rápido acúmulo de detritos vegetais e matéria orgânica sobre as dunas. Miranda (1994), ressalta que uma maior concentração de matéria seca da vegetação por  $m^2$ , é um indicativo de que esta estratégia está sendo funcional e deve ser incrementada no processo inicial de recuperação. Barroso (1994) confirma que esse acúmulo ocorrido após o plantio, somado ao introduzido pela cobertura com

bagaço-de-cana e solo de mata, pode ter tido reflexo sobre a melhoria da capacidade de retenção de umidade e a fertilidade do solo.

O maior grau de cobertura vegetal promovido pela irrigação, principalmente nas áreas com três e cinco anos de idade, pode estar associado ao fato de que os sucessivos períodos de seca, sem um suprimento de água via irrigação, provoquem a morte de várias plantas (herbáceas e pequenos arbustos), reduzindo a cobertura vegetal, porém provocando um maior acúmulo de detritos vegetais no solo. Para os locais com sete anos, onde a irrigação é realizada, a vegetação é constituída por várias espécies arbóreas, dentre as quais destaca-se a *Trema micrantha* que é uma espécie pioneira, que aumentam a quantidade de detritos no solo e conseqüentemente a quantidade de carbono e matéria orgânica.

Os fatos anteriormente relatados evidenciam que o peso seco da fitomassa e grau de cobertura constituídos somente de herbáceas e arbustos não devem ser os únicos parâmetros utilizados como indicadores da evolução e auto-sustentabilidade desses novos ecossistemas, pois os seus valores não são diretamente relacionados com os seus graus de maturidade.

#### 1.4.2 Características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo

Analisando-se os resultados, observa-se uma certa semelhança nos valores do pH nas áreas em estudo, apesar de que nas dunas com sete anos de idade, mata de restinga e tabuleiro, verificou-se maiores teores de alumínio nestas condições. Isto se deve, provavelmente, ao fato de que as áreas com sete anos de idade existam muitas espécies arbóreas de grande porte, bem como atividade de microrganismos, que podem estar contribuindo com estas variações, pois segundo Marschner (1986), a vegetação e os microrganismos do solo, podem alterar o pH do solo através da liberação de íons  $H^+$  ou  $OH^-$  pelas raízes e processos metabólicos, dado a necessidade da manutenção de um balanço eletroquímico, tanto no citoplasma das células das raízes e paredes celulares, quanto na solução do solo.

O pH não variou entre os ecossistemas e parece não ter exercido influência sobre a maioria das propriedades do solo, considerando-se que praticamente foram verificados maiores teores de alumínio trocáveis para solos de mata de tabuleiro do que solo sob o ecossistema com sete anos e com irrigação, confirmados pelas correlações negativas entre os teores de soma de bases trocáveis e os teores de alumínio trocável. Este comportamento do Al concorda com os resultados de Alcantara (1995), a qual também verificou elevados teores de alumínio trocáveis

obtidos para os solos sob cobertura de mata do que sob campo na região do Alto Rio Grande - MG, provavelmente associados aos processos de lixiviação e à maior extração de cátions básicos, confirmados pelas correlações negativas entre os teores de bases trocáveis e os teores de Al-trocável. Ramos et al (1986) também verificaram menores valores de Al no interior de uma mata de galeria que no cerrado circundante.

Ocorreu um decréscimo com os teores das bases trocáveis  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , onde nas condições de mata de restinga e tabuleiro encontram-se valores muito baixos, indicando a baixa fertilidade que caracteriza os solos representativos dos ambientes estudados. Estas características resultam provavelmente da baixa imobilização de nutrientes pela biomassa das dunas em recuperação. Certamente, considerando-se o montante de nutrientes nos diferentes locais, principalmente tabuleiro e dunas com sete anos de recuperação, que foram diferentes estatisticamente, este sistema apresentará maior quantidade de bases em função de sua biomassa, constituída basicamente por muitas espécies arbóreas, enquanto que no tabuleiro, devido as características de intervenção na área (antigo plantio de cana de açúcar), prevalecem as espécies ruderais pioneiras, ou seja, herbáceas.

A CTC-efetiva, soma de bases, saturação por bases e por alumínio, revelam as características de baixa fertilidade dos solos estudados. Analisando os níveis de matéria orgânica, pode-se constatar que a CTC está altamente e diretamente relacionada ao conteúdo de matéria orgânica, reforçando ainda mais a necessidade de seu monitoramento. Estes resultados concordam com aqueles de Alcantara (1995), onde foi verificado que em solos sob vegetação de mata em relação a de campo no Alto Rio Grande - MG, a CTC mais elevada, provavelmente estão associados aos maiores teores de matéria orgânica, evidenciado nos elevados coeficientes de correlações. A soma e saturação por bases foram caracterizadas por médio e altos níveis dos cátions trocáveis e apresentaram correlações positivas com a maioria das propriedades do solo, principalmente manganês, carbono orgânico e zinco para áreas com sete anos irrigadas, e evidenciadas pelas correlações negativas com teores de alumínio para mata de tabuleiro.

Entre os micronutrientes, apenas o boro, manganês e zinco apresentaram diferenças entre as condições estudadas. A concentração de boro foi bastante variável entre as áreas de estudo. Comparando as variações ocorridas com o conteúdo de matéria orgânica, pode-se observar que ambos estão altamente e diretamente relacionados. Fasbender e Bornemisza (1987), verificaram que a disponibilidade de boro é afetada pelo teor de matéria orgânica, textura, pH do

solo, vegetação e óxidos de ferro e alumínio, e que a deficiência de boro está associada aos solos alcalinos e à grande afinidade existente entre este elemento e os óxidos em solos ácidos.

Pode-se observar que apenas o tabuleiro apresentou níveis de manganês abaixo do adequado, considerado por Malavolta e Kliemann (1985) em torno de 5 ppm. Os maiores teores deste nutriente foram encontrados em condições de dunas não irrigadas, principalmente em dunas com cinco anos de recuperação, apesar de não diferirem significativamente das demais dunas. Entretanto, menores níveis foram encontrados em mata de tabuleiro, provavelmente devido à redução do pH, que tende a reduzir a atividade do íon  $Mn^{2+}$  na solução do solo, atingindo 100 vezes a redução para o incremento de cada unidade de pH (Borkert, 1991). Já para as condições de dunas em recuperação e sem irrigação verificaram-se os maiores teores de manganês, provavelmente associado com ligantes orgânicos que podem também influir na absorção do elemento pelas raízes das plantas. Associados a estas observações, vale lembrar que as amostras de solo foram feitas até 20 cm, e, o efeito da profundidade sobre os teores de Mn é reflexo de sua afinidade pelos radicais orgânicos (Rajj 1991), cuja maior concentração é encontrada nas camadas superficiais do perfil.

De forma geral, os teores de Zinco acompanharam os teores de matéria orgânica. Tal fato pode ser explicado pela alta afinidade deste elemento por cadeias orgânicas. Stevenson (1985) também relata que os complexos orgânicos são responsáveis por cerca de 75% do zinco na solução.

Pelas concentrações de carbono orgânico e matéria orgânica verificadas nos locais estudados, pode-se observar que pode estar ocorrendo uma redução na taxa de mineralização durante o período seco nas áreas não irrigadas. A baixa disponibilidade de água pode reduzir drasticamente a atividade de microrganismos decompositores (Siqueira e Franco, 1988). Conforme relatado por Hassink (1994), que investigou a influência da textura sobre o total do C-orgânico em solos arenosos sob vegetação de pradaria e com menor retenção de água, os solos arenosos com baixo grau de umidade são mais susceptíveis a seca no verão, conduzindo a uma menor taxa de decomposição.

Observa-se que os valores médios da concentração de P nos locais estudados apresentaram teores muito baixos nas áreas em recuperação. Estes teores foram baixos nas áreas com um ano sem irrigação, e aumentaram ligeiramente nas áreas de três a cinco anos, mas estiveram ainda baixos aos sete anos. Diante desta evolução, acreditamos que o processo de



fertilização ocorrido periodicamente na formação desta última área, possa estar influenciando estes resultados, sendo portanto necessário repetir tal fertilização nas áreas mais jovens.

De maneira geral, observou-se baixa disponibilidade de nutrientes para as condições das dunas em recuperação, fato que reflete a própria condição natural destes solos, pois tratam-se de areias quartzosas, que após a extração dos metais pesados, apesar da recomposição da serapilheira não mantiveram suas propriedades químicas.

Os resultados apresentados mostraram que a quantidade da biomassa na forma de carbono microbiano tende a ser superior na área de sete anos irrigada, apesar desta superioridade não ter sido significativa estatisticamente. Se tal tendência for mantida em levantamentos futuros, poderá ser esperado que o conteúdo de carbono orgânico sofrerá um aumento significativo na referida área, uma vez que a biomassa microbiana é o principal armazenador do carbono (Cheng e Virginia, 1993). O elevado CV revela que as metodologias analíticas devem ser mais apuradas para que as variações nesta característica sejam avaliadas com maior sensibilidade. As perturbações ecológicas e variações na quantidade de matéria orgânica são mais rapidamente detectadas pelas variações na biomassa microbiana do solo que as propriedades físicas e químicas (Powlson, Brookes e Chistensen, 1987).

Os dados encontrados para biomassa de carbono são similares aos de Sawada (1994), que trabalhou com estimativa bioquímica em dunas arenosas através da biomassa de carbono durante o verão de 1993 e 1994 no oeste da Austrália, verificando que ecossistemas de sítios recuperados com retorno direto da serapilheira tem similares estabelecimentos e restabelecimentos do que uma floresta nativa aos 6 anos de manejo de reabilitação. Os níveis encontrados de 115 a 170  $\mu\text{g/g}$  de carbono em amostras de solo de dunas na camada de 0 a 15cm em um estudo na Austrália, correspondem aos níveis encontrados nas dunas em recuperação em Mataraca (0 a 20cm), o qual alcançaram 117,06 a 221,76  $\mu\text{g/g}$  de carbono. Sawada (1995), trabalhando com o restabelecimento da biomassa microbiana do solo e sua atividade em solos reabilitados de várias idades em minas de bauxita em Jarrahdale no oeste da Austrália, demonstrou que características microbianas da cada idade de reabilitação foram similares, em particular aos três e seis anos de reabilitação, havendo em cada período um aumento na biomassa microbiana. Este estudo feito em sítios de seis anos de idade inclui diferentes manejos de reabilitação, tais como fertilizantes e semeadura de espécies nativas. Os resultados deste estudo parecem indicar que a biomassa microbiana no solo é totalmente associada com o desenvolvimento da cobertura de plantas.

A atividade de fosfatase ácida foi significativamente superior no solo proveniente da mata de restinga, sendo esta superioridade relacionada aos maiores teores de fósforo orgânico constituinte da biomassa microbiana e teores de matéria orgânica, concordando com Tabatabai (1982), quando foi mostrado que a produção da fosfatase é estimulada pela matéria orgânica e pela presença de fósforo orgânico. Este mesmo autor também revela que altas concentrações de fósforo inorgânico reduzem a atividade de fosfatase. Provavelmente, as diferentes concentrações de fósforo presente na biomassa microbiana e fósforo inorgânico podem explicar os menores níveis da atividade de fosfatase ácida nas áreas sob processo de reabilitação.

Em ambos ecossistemas a atividade de fosfatase ácida foi superior à alcalina, mesmo que a acidez não tenha variado significativamente nestes locais, observou-se uma certa elevação em certas áreas, visto que a atividade de fosfatase alcalina não foi detectada pelas análises. Por outro lado, independentemente da fonte de carbono presente, a secreção da fosfatase alcalina é estimulada em pH acima de 7,4, enquanto que a produção e secreção da fosfatase ácida é restringida. Em pH inferior a 5,7, ocorre fenômeno contrário (Nahas, 1981). Essas características podem ser importantes para o crescimento dos microrganismos e hidrólise do fosfato orgânico em solos ácidos ou alcalinos, no entanto deve-se ter cuidado com interpretações de atividades enzimáticas, pois estas são influenciadas pelas variações sazonais, onde as determinações pontuais em um determinado período de coleta dos dados, provavelmente não representam a real situação local (Tabatabai, 1982).

O elevado número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA's) nas áreas com cinco anos de recuperação provavelmente está associado a ocorrência de gramíneas, visto que estas espécies somente ocorrem nas parcelas localizadas nessas áreas. Quanto a este aspecto, observações futuras deverão ser feitas, não no sentido de monitoramento, mas com o propósito de se avaliar o processo de sucessão da *Brachiaria* em termos de vigor e adaptação das espécies sucessoras, pois esta gramínea é hospedeira natural de fungos MA's e, é utilizada para a obtenção de inóculos potenciais para várias plantas cultivadas, e, também pode ser estrategicamente empregada na forma de pré-cultivo em áreas degradadas para gerar abundante inóculo para as espécies arbóreas em um posterior cultivo, ressaltando que, seria necessário um estudo mais detalhado para verificar quais espécies estariam sendo colonizadas por estes microrganismos. Trufem, Malatinszky e Otomo (1994), relatam que é muito importante a época de coleta dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares, pois em um trabalho de ocorrência de esporos de MA's em raízes de plantas no litoral arenoso do Parque Estadual da Ilha do Cardoso -

SP, realizado entre março de 1988 a julho de 1990, verificaram que os meses que apresentaram maior média em relação ao número de esporos/100g de solo, foram os de abril/1988 (113 esporos) e março/1988 (105 esporos), enquanto que as menores médias ocorreram nos meses de julho/1988 (14 esporos) e outubro/1988 (15 esporos), verificando-se também que, a menor média no número de esporos foram àquelas épocas em que as precipitações foram maiores, temperaturas mais baixas e menor número de horas de insolação.

Apesar do baixo número de esporos de MA's encontrado em todas as condições, exceto para áreas com cinco anos e sem irrigação, sua presença é de vital importância como fonte de inóculo para as espécies micotróficas. Em condições de dunas, sabe-se da existência de alta porcentagem de espécies micotróficas, seja em condições de clima temperado ou sub-tropical (Puppi e Reiss, 1987; Dalpé, 1989; Gemma e Koske, 1992). Verifica-se que alguns estudos sobre micorrizas em ecossistemas de dunas arenosas tem mostrado que a maioria das plantas colonizadas são amplamente infectadas por fungos micorrízicos arbusculares (MA's) (Gemma e Koske, 1992). Outros estudos também concluíram que a percentagem de infecção de raízes e a abundância de esporos de MA's variam de acordo com a posição e estações do ano nestes ecossistemas, aspecto este que deve também ser considerado nas condições do presente estudo (Giovannetti e Nicolson 1983; Gemma e Koske, 1988; Koske e Halvorson, 1989).

## 1.5 CONCLUSÕES

O PCA mostrou para a recuperação das dunas, diferenças marcantes entre as amostras de solo. As propriedades do solo: pH, H+Al, Mg, K, CTC a pH 7, Na, Cu, S, Fe, densidade de partículas, condutividade elétrica, biomassa microbiana (C, N, P) e atividade específica de fosfatase alcalina não variaram entre os diferentes locais .

As variações entre locais foram registrados para: soma de base trocável, saturação por alumínio, Zn, número de esporos de micorrizas vesículo-arbusculares (MA's) e atividade específica de fosfatase ácida (AEFA). Porém, tais variações em função da idade e irrigação, devido aos vários procedimentos realizados nas dunas em recuperação, bem como condições específicas dos locais estudados, não foram consistentes para explicar as diferenças observadas nestes ambientes.

Os locais estudados, mesmo que profundamente perturbados, mantém uma comunidade microbiológica potencialmente favorável à sua recuperação. Entretanto, a

concretização deste potencial requer estratégias adequadas de manejo e amostragens mais detalhadas em outras épocas do ano.

As frações bioquímicas e fração do carbono orgânico, bem como as maiores correlações entre a matéria orgânica e propriedades químicas do solo, verificada nos ecossistemas de mata de restinga e área em recuperação com sete anos e irrigada, indicam a maior intensidade de seus processos biológicos.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E ESPÉCIES HERBÁCEO-ARBUSTIVAS DE TABULEIRO E DUNAS DE REJETO SOB PROCESSO DE RECUPERAÇÃO**

#### **2.1 INTRODUÇÃO**

Algumas regiões do litoral brasileiro apresentam características bem distintas quanto à fauna, flora, clima e solos, os quais somados, definem ecossistemas específicos. Um destes ecossistemas são as dunas costeiras, que têm despertado atualmente o interesse por parte de cientistas de todo o mundo, uma vez que apresentam uma vegetação bastante peculiar.

Deve-se ressaltar, todavia, que a vegetação litorânea do Brasil tem sido muito pouco estudada sob o ponto de vista ecológico e que, recentemente, o interesse por esses estudos “cresce por sua estreita relação com o problema das halófitas (tolerantes a sais) e conseqüentemente, com os assuntos de adubação e de irrigação artificial de culturas em regiões áridas” (Andrade, 1968).

Dansereau (1948), num estudo sobre a distribuição de zonas e sucessão na restinga do Rio de Janeiro, considera as restingas como longas barreiras de areia depositadas pelas correntes marinhas paralelas ao litoral, e a formação das dunas pela erosão eólica como um fenômeno secundário. Ele procura traçar um quadro e dar uma definição fisionômica desta área baseado no inventário da flora e da fauna. Dessa maneira, o objetivo foi o de fornecer informações sobre numerosos “habitats” da restinga e classificá-los como estágios de sucessão.

Em um estudo ecológico de dunas de areia Gevertz (1983) definem estas como pequenas elevações de areia formadas pelos ventos que vêm do mar, ressaltando a maior ou menor mobilidade destas em função de fatores preponderantes, tais como velocidade e a duração dos ventos, o conteúdo de água e o pH do solo, além da ação das comunidades vegetais ali

existentes. As dunas apresentam de um modo geral, características físico-químicas próprias, que permitem a ocorrência de sucessão ecológica, que é o conjunto de modificações do meio e das comunidades na direção de uma "biocenose clímax", onde a biomassa atinge um valor máximo (Carvalho, 1975). Os vários estágios da sucessão ecológica permitem avaliar o papel desempenhado pelos organismos que colonizaram o ecossistema em questão, bem como o daqueles que virão a colaborar para o estabelecimento de uma comunidade clímax.

Em ecossistemas de dunas arenosas costeiras, plantas pioneiras são sujeitas a um considerável estresse e deficiência dos principais nutrientes (N,P,K) e matéria orgânica, existindo também uma ampla variação de umidade e temperatura, injúrias da areia através do vento e salpicos de sais, além de intensa erosão do solo (Barbour et. al. 1985; Maun, 1994). Neste sentido as dunas arenosas costeiras fornecem muitas vantagens para se investigar o papel das micorrizas na sucessão. Nestes ecossistemas é possível examinar a vegetação completa em todos os diferentes estágios, em uma área relativamente pequena e com considerável variação nas condições bioclimáticas (Blaszkowski, 1994).

A maioria das pesquisas sobre micorrizas em dunas arenosas consiste de estudos detalhados sobre o estado micorrízico das plantas colonizadoras e sobre a identificação, distribuição e abundância dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA's), os quais infectam as raízes daquelas espécies (Giovannetti e Nicolson, 1983; Gemma e Koske, 1989; Blaszkowski, 1994). Pesquisas sobre o papel das micorrizas na sucessão em diferentes ecossistemas tem fornecido resultados contraditórios e, aparentemente, não existem regras sobre o estado micorrízico de plantas na sucessão. A observação tradicional propõe que habitats sucessionais primários são colonizados por espécies micotróficas facultativas ou não micotróficas (Janos, 1980), e isto tem sido sustentado por muitos estudos (Miller, 1979; 1987).

Embora as micorrizas possam exercer uma grande significância ecológica no suprimento de nutrientes de plantas distribuídas em dunas arenosas (Koske e Polson, 1984 ; Read, 1989), onde a escassez de fósforo, nitrogênio e potássio podem ser extremos (Kelman e Roulet, 1990 ; Maun, 1994), isto não tem sido experimentalmente verificado, e, poucos estudos têm descrito sua influência no crescimento de espécies de dunas arenosas (Gemma e Koske, 1989). Entretanto, em contraste com dunas arenosas de clima temperado, onde as principais plantas estabilizadoras são gramíneas (Read, 1989), nas dunas arenosas tropicais de La Mancha, no México, diferentes formas de crescimento de espécies de leguminosas, bem como membros das Asteracea, Poaceae e Convolvulaceae podem ser encontradas (Moreno-Casasola, 1988), e estas

foram todas registradas como fortemente micorrízicas em um estudo prévio (Giovannetti, 1985). Decorre daí a importância da presença dos fungos micorrízicos arbusculares (MA's) nestes solos alterados, pois estes especificamente interferem na composição, na competição e na sucessão de comunidades vegetais (Allen e Allen, 1984) e compõe uma via de fluxo energético que pode ser considerada uma cadeia alimentar principal (Odum, 1988). Entre os minerais que são transportados para as raízes das plantas via fungos endomicorrízicos, são relatados N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Cu, Mn e B (Mosse, 1981; Trappe, 1981; Lopes, Siqueira e Zambolin, 1983 e Odum, 1988).

Percebe-se, que os ecossistemas naturais apresentam grande diversidade de espécies, interligadas numa série de complexos relacionados. Quando estes são alterados, suas superfícies são invadidas por espécies pioneiras colonizadoras, fornecendo sombra, nutrientes e "litter" para as outras espécies se estabelecerem e iniciarem o progresso da comunidade por meio de estágios sucessivos, até alcançarem a condição de clímax (Ford e Langkamp, 1987).

Informações a respeito de trabalhos de levantamentos vegetacionais de dunas de rejeito em recuperação e tabuleiro (savanas) relacionadas com propriedades do solo são praticamente inexistentes. Vilela et al. (1993), salientam a importância da investigação conjunta das comunidades vegetais e suas variáveis ambientais para subsidiar com informações básicas os programas de recuperação ambiental utilizando espécies nativas. A investigação de tais fatores é extremamente importante, já que só a partir disto torna-se possível o manejo apropriado das comunidades estudadas (Daubenmire, 1968).

Relatos de experiências de revegetação de áreas degradadas por mineração em regiões de condições adversas, como nas dunas costeiras, são encontradas para a Austrália (Scanlon e Martinick, 1986; Unwin e Cook, 1986) e Estados Unidos (Farmer Jr., Cunningham e Barnhill, 1982; Maun e Krajnyk, 1989). No Brasil, em termos de revegetação de dunas provenientes da atividade mineradora, o trabalho da RIB, em Mataraca, é pioneiro. A composição florística dos diferentes tipos fisionômicos de área de mineração da RIB, também foi objeto de trabalho anterior (Oliveira-Filho e Carvalho, 1993b; Carvalho e Oliveira-Filho, 1993).

O presente trabalho, em prosseguimento ao capítulo 1, teve como objetivo avaliar as interações entre a vegetação secundária que se estabeleceu sobre as dunas de rejeitos (irrigadas ou não), áreas de tabuleiro (savanas) e parâmetros físicos, químicos, bioquímicos e microbiológicos do solo, com o propósito de se avaliarem os vários processos de revegetação

testados sobre as dunas. Também procurou-se investigar quais destas variáveis se relacionavam com as espécies mais dominantes em termos de cobertura vegetal das dunas.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1 Área de estudo**

A área de estudos está descrita no item 1.2.1 do primeiro capítulo.

### **2.2.2 Métodos**

#### **2.2.2.1 Vegetação**

Andrade-Lima (1960) definiu para o estado de Pernambuco quatro zonas fitogeográficas que certamente são válidas para os estados vizinhos de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte. A Zona Litoral compreende a estreita faixa de vegetação costeira, incluindo as restingas e manguezais. Para o interior, segue-se a Zona da Mata, que consiste das florestas pluviais e semidecíduas que se estendem ao longo da costa atlântica desde o sul do país até o estado da Paraíba. Manchas isoladas de florestas serranas ocorrem ainda no sertão, onde são conhecidas como “brejos”. A Zona do Cerrado compreende ocorrências disjuntas desta formação savânica típica do Brasil Central em áreas de solos arenosos próximas à costa nordestina ou em planaltos isolados no interior do sertão. A Zona da Caatinga corresponde à formação xérica predominante no interior semi-árido e que se aproxima do litoral nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará.

Em diversas regiões costeiras do Nordeste, a Zona Litoral se confronta com a Zona do Cerrado, principalmente onde as faixas arenosas penetram profundamente no continente. Nestas áreas, as formações vegetais predominantes das Zonas Litoral e do Cerrado recebem o nome de restinga e tabuleiro, respectivamente. A restinga é uma formação vegetal que reveste as dunas costeiras e cuja fisionomia varia profundamente desde o tipo herbáceo reptante praiano até o florestal fechado. Os tabuleiros ocorrem nas áreas continentais adjacentes à restinga, estendendo-se sobre as planícies arenosas formadas sobre o Grupo Geológico Barreiras. Da mesma forma como ocorre para o termo “restinga”, o nome “tabuleiro” também refere-se



originalmente a uma formação geomorfológica, tendo se estendido à cobertura vegetal da mesma. A fisionomia dos tabuleiros é muito semelhante às do Brasil Central (fisionomias na acepção de Goodland, 1971).

A vegetação predominante do município de Mataraca - PB é a de restinga, que reveste as dunas costeiras, com uma fisionomia variando profundamente desde o tipo rasteiro praiano até o florestal fechado, à medida em que se sobe a encosta das dunas voltada para o mar. Do lado continental destas dunas, no ecótono savana/restinga, a ação dos ventos é menor, porém a vegetação se encontra perturbada pela ação antrópica devido à proximidade dos canaviais. Convivem ali espécies típicas de restinga e outras de cerrado em uma fisionomia heterogênea, predominando uma floresta aberta com muitas clareiras e inclusões de savana arborizada, surgidas provavelmente pela contribuição do fogo e do machado. A fisionomia savana arborizada (tabuleiro) na área foi substituída pelos canaviais, restando somente algumas áreas, caracterizadas por árvores e arbustos esparsos ou agrupados em manchas sobre uma cobertura graminosa. Encontra-se ainda na área formações de mangue e várzea, associados ao rio Guaju. Podem ainda ser destacadas as formações pioneiras, que compreendem as áreas invadidas por plantas pioneiras após a remoção da cobertura vegetal (Oliveira-Filho e Carvalho, 1993a).

### **2.2.2.2 Análise da Vegetação e Procedimento de Campo**

Parcelas foram alocadas em pontos estratégicos em relação a vegetação, em dunas de rejeito com um, três, cinco, sete anos e tabuleiro, de forma a analisar principalmente o gradiente ambiental e vegetação, que se supôs existir entre topo das dunas, posição de frente aos ventos alísios e atrás das mesmas (posterior), bem como áreas abandonadas de tabuleiro. O método utilizado, distribuição da amostragem e os critérios utilizados seguem a mesma metodologia descrita no item 1.2.2.2 do primeiro capítulo, onde os mesmos locais de amostragem para análises do solo foram selecionados (parcelas de 3,0 m x 3,0 m), após serem subdivididas em quatro quadrantes através de estacas e barbantes, onde identificaram-se as espécies ocorrentes e estimou-se o grau de cobertura e a sociabilidade de cada espécie identificada, conforme a Tabela 2.1.

Estas parcelas foram etiquetadas e mapeadas para se constituírem em pontos amostrais fixos para os futuros levantamentos e coletas periódicas de dados a serem utilizados no monitoramento da auto-sustentabilidade do novo ecossistema.

TABELA 2.1. Escalas de magnitude do grau de cobertura e da sociabilidade das espécies (Braun e Blanquet, 1979).

Escala de Magnitude	Grau de Cobertura (%)	Sociabilidade
*	< 1	
1	1 a 10	Indivíduos isolados (caules ou troncos isolados)
2	10 a 25	Em pequenos grupos (tufos)
3	25 a 50	Em grupos maiores
4	50 a 75	Em colônias ou tapetes extensos
5	75 a 100	População contínua

O valor de cobertura (VC) para cada espécie foi calculado pela seguinte fórmula (Braun-Blanquet, 1979):

$$VC = \frac{\text{Somadas percentagens de cobertura das especies nas parcelas}}{\text{Numero total de parcela}} \times 100$$

A frequência (Freq) das espécies foi determinada pela fórmula:

$$Freq. = \frac{\text{Numero de parcelas em que a especie ocorre}}{\text{Numero total de parcelas}} \times 100$$

Para cada espécie, foram coletados amostras de material botânico e, sempre que possível, com flores ou frutos. O material coletado foi identificado com auxílio de taxonomistas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), recorrendo-se, quando necessário, à especialistas de outras instituições. As exsicatas foram incorporadas ao herbário do Departamento de Biologia (ESAL).

### 2.2.2.3 Análise dos Dados

Para descrever os oito tipos de habitats estudados (tabuleiro, um ano não irrigado, três, cinco e sete anos irrigado ou não), foram calculados para cada espécie os seguintes parâmetros fitossociológicos: valor de cobertura (VC), frequência e altura média (Braun-Blanquet, 1979).

Os dados foram analisados através da análise indireta de gradientes. Neste tipo de análise parte-se do princípio de que a variação da vegetação, em termos de abundância das espécies, está intimamente ligada a variáveis ambientais. Nesta análise a variância dos dados de vegetação é organizada e simplificada (*a priori*) por meio de um método de classificação ou ordenação de forma a se tornar mais compreensível. Após este processo, tenta-se, então, associar as variáveis ambientais à variação da vegetação (*a posteriori*) (Kent e Coker, 1992).

#### 2.2.2.4 Análise de Correspondência Canônica

Com o objetivo de se relacionar a distribuição das abundâncias das espécies com as variáveis ambientais procedeu-se a uma ordenação por meio de análise de correspondência canônica (CCA, *Canonical Correspondence Analysis*). Métodos de ordenação consistem basicamente em sintetizar em um gráfico com eixos perpendiculares (eixos de ordenação) entre si a variação multidimensional de um conjunto de variáveis. Espécies e variáveis são transformadas em coordenadas (*autovectors*) correspondentes à sua projeção em cada eixo de ordenação (*eigenvector*). O autovalor (*eigenvalue*) é o peso relativo de cada eixo na explicação da variância total dos dados.

A CCA é um método de ordenação recente (Ter Braak, 1988) e tem ganhado espaço em relação aos métodos tradicionais, principalmente devido a dois motivos:

(a) Permite a ordenação conjunta de variáveis ambientais e da vegetação em um mesmo diagrama (*biplot*). Esta técnica utiliza regressões múltiplas resultando em eixos de ordenação que sumarizam combinações lineares das variáveis ambientais (Ter Braak, 1986; 1987). Kent e Coker (1992) consideram este método como um tipo intermediário entre a análise direta e indireta de gradientes porque a ordenação produzida não é baseada exclusivamente nos dados de vegetação, mas também nas variáveis ambientais, sendo ambos correlacionados com os eixos de ordenação.

(b) Permite a aplicação de um teste de significância para as correlações entre as abundâncias das espécies e as variáveis ambientais, que é o teste de Monte Carlo (Hope, 1968).

No processamento da CCA e do teste de Monte Carlo foi utilizado o programa Canoco versão 3.1 (Ter Braak, 1988).

Como requerido pela CCA, os dados foram organizados em duas matrizes, a de variáveis ambientais e a de espécies. A matriz de espécies consistiu dos valores de cobertura de

cada espécie por parcela. Foram incluídas apenas as 8 espécies (*Paspalum maritimum*, *Commelina bengalensis*, *Remirea maritima*, *Cyperus ligulares*, *Digitaria horizontalis*, *Rhynchelytrun repens*, *Solanum paniculatum*, *Solanum paludosum*) com os maiores valores de cobertura nas 40 parcelas estudadas. Este procedimento foi tomado devido à importância destas espécies na rápida cobertura das dunas em recuperação e porque as espécies raras ou com pouco valor de cobertura têm pouca influência ou nenhuma influência nos resultados de ordenações, e sua eliminação reduz o montante de cálculos (Causton, 1988). A matriz de dados ambientais incluiu, por parcela, as propriedades químicas: P, K, Ca, Zn, Mn, B, S (Soma de Bases Trocáveis), m (Saturação por alumínio da CTC efetiva) e V (Saturação de Bases da CTC à pH 7); o carbono orgânico (CO); propriedades granulométricas: argila, areia, limo, atividade específica de fosfatase ácida (AEFA), número de esporos de micorrizas vesicular arbusculares (MA's) e as variáveis nominais (presença=1, ausência=0) irrigado e não irrigado. Após uma análise preliminar foram eliminadas todas aquelas que apresentaram baixa correlação ponderada com os eixos da ordenação, ou seja, inferiores a 0,4 conforme foi proposto por Oliveira-Filho et al. (1986). As variáveis que permaneceram após este estudo preliminar, foram: P, K, m, CO, areia, limo, argila, zinco, manganês, boro, MA's, AEFA, irrigado, não irrigado. Assim, a análise final foi feita com 12 variáveis ambientais. As parcelas da mata de restinga foram excluídas para se avaliar uma possível relação de estágio de sucessão nas dunas. Metodologia de amostragem de plantas herbáceas e arbustivas não se adequam à este tipo de levantamento.

O programa Canoco produziu uma ordenação com vários eixos, onde a distribuição das espécies e parcelas são representadas por pontos, enquanto que as variáveis ambientais são representadas por setas indicando a direção do gradiente máximo desta, sendo o comprimento da seta proporcional a correlação da variável com os eixos. Para melhorar a compreensão, o gráfico de ordenação foi separado em dois diagramas, um com a ordenação das espécies e outro com a das parcelas, sendo que em ambos as posições das variáveis ambientais foram idênticas.

### 2.3 RESULTADOS

No presente levantamento foram encontradas 96 espécies de 33 famílias nos locais de amostragem: tabuleiro e dunas com diferentes idades (um, três, cinco e sete anos) de recuperação, sendo estas, irrigadas ou não. Na Tabela 2.2, são apresentadas as 24 espécies

TABELA 2.2. Relação das espécies de plantas encontradas em Tabuleiro em Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies*	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Polygala hebeclada</i> DC.	100	2610
<i>Solanum paludosum</i> Moric.	80	2200
<i>Solanum paniculatum</i> L.	60	1700
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	60	1600
<i>Trema micrantha</i> Blume.	20	1250
<i>Scoparia dulcis</i> L.	60	210
<i>Sida rhombifolia</i> L.	80	130
<i>Cyperus esculentos</i> L.	60	120
<i>Sida spinosa</i> L.	40	110
<i>Digitaria insularis</i> (L.) Mez. ex Ekman.	40	110
<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R.Br.	20	100
<i>Stylosanthes guianensis</i> (aubl.) Sw.	20	100
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	80	40
<i>Cassia flexuosa</i> L.	60	30
<i>Eleocharis filiculmis</i> Kunth	60	30
<i>Acantospermum australe</i> (Lofl.) O. Kuntze	40	20
<i>Eupatorium balloefolium</i> Kunth.	20	10
<i>Evolvulus</i> sp	20	10
<i>Remirea maritima</i> Aubl.	20	10
<i>Marsypianthes chamoederys</i> (Vahl) Kuntz.	20	10
<i>Eragrostis pilosa</i> (L.) Beauv.	20	10
<i>Setaria vulpiseta</i> (Lam.) Roem. et Schult.	20	10
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	20	10
<i>Turnera ulmifolia</i> L. var. <i>elegans</i> Urb.	20	10

\* Todas estas espécies surgiram espontaneamente na área.

encontradas no tabuleiro pertencentes a 13 famílias botânicas; as famílias que apresentaram maior número de espécies foram Gramineae com 4 espécies, Compositae, Cyperaceae e Solanaceae com 3 espécies cada uma. As espécies mais frequentes foram, em ordem decrescente, *Polygala hebeclada*, *Erigeron bonariensis*, *Sida rhombifolia*, *Solanum paludosum*, *Cassia flexuosa*, *Cyperus esculentus*, *Eleocharis filiculmis*, *Digitaria horizontalis*, *Scoparia dulcis* e *Solanum paniculatum*; e as que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescente foram *Polygala hebeclada*, *Solanum paludosum*, *Solanum paniculatum*, *Digitaria horizontalis* e *Trema micrantha*.

Na Tabela 2.3 são apresentadas as 17 espécies, encontradas em dunas em recuperação com um ano de idade e sem irrigação, pertencentes a 13 famílias botânicas; as famílias mais numerosas em espécies foram Gramineae com 3 espécies, Cyperaceae e Malvaceae com 2

TABELA 2.3. Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com um ano de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Digitaria horizontales</i> L.	80	4200
<i>Cenchrus echinatus</i> Schrder	80	470
<i>Passiflora foetida</i> L.	40	450
<i>Sida ciliares</i> L.	40	200
<i>Remiria maritima</i> Aubl.	40	200
<i>Mimosa caesalpinioefolia</i> Benth.	40	110
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Will.) Hud.	40	110
<i>Scoparia dulcis</i> L.	20	100
<i>Solanum paniculatum</i> L.	60	30
<i>Anacardium occidentale</i> L.*	40	20
<i>Cassia uniflora</i> Spreng.	20	10
<i>Cyperus ligularis</i> L.	20	10
<i>Canavalia ensiformes</i> DC.	20	10
<i>Sida rhombifolia</i> L.	20	10
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	20	10
<i>Diodia teres</i> Walt.	20	10
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	20	10

\* Espécie cultivada

espécies cada. As espécies mais frequentes foram, em ordem decrescente, *Digitaria horizontalis*, *Cenchrus echinatus* e *Solanum paniculatum*. As que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescente, foram *Digitaria horizontalis*, *Cenchrus echinatus*, *Passiflora foetida*, *Remiria maritima* e *Sida ciliares*.

Na Tabela 2.4 são apresentadas as 34 espécies encontradas em dunas em recuperação com três anos de idade e com irrigação, pertencentes a 21 famílias botânicas; as famílias mais numerosas em espécies foram Gramineae com 6 espécies, Euphorbiaceae com 5 espécies, Caesalpinaceae, Fabaceae e Rubiaceae com 2 espécies. As espécies mais frequentes foram, em ordem decrescente, *Cyperus ligularis*, *Cnidoscolus urens*, *Cenchrus echinatus*, *Rhynchelytrum repens*, *Paspalum maritimum*, *Tabebuia-roseo-alba* e *Sida ciliaris*. As que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescente, foram *Paspalum maritimum*, *Cyperus ligularis*, *Rhynchelytrum repens*, *Centrosema virginianum*, *Digitaria insularis*, *Turnera ulmifolia*, *Cnidoscolus urens*, *Cenchrus echinatus* e *Tabebuia roseo-alba*. Nesta condição *Tabebuia roseo-alba* e *Paspalum maritimum* foram plantadas, sendo que todas as demais surgiram espontaneamente.

TABELA 2.4. Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com três anos de idade e com irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Paspalum maritimum</i> Trin.*	100	7750
<i>Cyperus ligularis</i> L.	100	1000
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Will.) Hud.	100	910
<i>Cucumis anguria</i> L.	20	750
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	20	350
<i>Digitaria insulares</i> L.	60	300
<i>Turnera ulmifolia</i> L. var. <i>elegans</i> Urb.	60	300
<i>Cenchrus echinatus</i> Schrder	100	230
<i>Cnidocolus urens</i> (L.) Arthur.	100	230
<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sandw.*	80	220
<i>Passiflora foetida</i> L.	40	110
<i>Cassia uniflora</i> Spreng.	40	110
<i>Croton glandulosus</i> (L.) Muell.	60	110
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	20	100
<i>Manilkara salzmannii</i> (A.DC.)H.J. Lam.*	20	100
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.*	20	100
<i>Alonia</i> sp	20	100
<i>Sida ciliates</i> L.	80	40
<i>Scoparia dulcis</i> L.	60	30
<i>Emilia sonchifolia</i> DC.	60	30
<i>Digitaria horizontalis</i> L.	40	20
<i>Evolvulus</i> sp	20	20
<i>Croton lobatus</i> L.	40	20
<i>Dalechampia micromeria</i> Baill	40	20
<i>Zornia diphylla</i> Pers.	20	10
<i>Commelina bengualensis</i> L.	20	10
<i>Euphorbia hirta</i> L.	20	10
<i>Zollernia ilicifolia</i> Benth.	20	10
<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntz.	20	10
<i>Schrankia leptocarpa</i> DC.	20	10
<i>Mollugo verticillata</i> L.	20	10
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.F.W. Meyer	20	10
<i>Tocoyena selleana</i> Schum.*	20	10
<i>Solanum paludosum</i> Moric.	20	10

\*Espécies cultivadas

Na Tabela 2.5 são apresentadas as 27 espécies encontradas em dunas em recuperação com três anos de idade e sem irrigação, pertencentes a 14 famílias botânicas; as famílias mais numerosas em espécies foram, Euphorbiaceae com 7 espécies, Gramineae com 5 espécies, Cyperaceae com 3 espécies e Rubiaceae com 2 espécies. As espécies mais frequentes foram, em ordem decrescente, *Cnidocolus urens*, *Rhynchelytrum repens*, *Paspalum maritimum*, *Cenchrus echinatus* e *Scoparia dulcis*. As que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescente, foram *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens*, *Dalechampia scandens*, *Evolvulus* sp e *Croton lobatus*. Neste tratamento somente a espécie *Paspalum maritimum* foi plantada, sendo as demais surgidas espontaneamente.

TABELA 2.5. Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com três anos de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Paspalum maritimum</i> Trin.	100	4050
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Will.) Hud.	100	4050
<i>Dalechampia scandens</i> L.	20	200
<i>Evolvulus</i> sp	40	110
<i>Croton lobatus</i> L.	40	110
<i>Cassytha filiformis</i> Jacq.	20	100
<i>Passiflora foetida</i> L.	20	100
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Ness) Stapf.	20	100
<i>Remirea maritima</i> Aubl.	20	100
<i>Croton glandulosus</i> (L.) Muell.	40	100
<i>Croton lundianus</i> (F. Diedr.) Muell.	20	100
<i>Cnidocolus urens</i> (L.) Arthur.	100	50
<i>Cenchrus echinatus</i> Schrder	60	30
<i>Scoparia dulcis</i> L.	60	30
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.F.W. Meyer	40	20
<i>Sida ciliares</i> L.	40	20
<i>Emilia sonchifolia</i> DC.	40	20
<i>Anacardium occidentale</i> L.*	20	10
<i>Cyperus esculentos</i> L.	20	10
<i>Cyperus ligularis</i> L.	20	10
<i>Dalechampia micromeria</i> Baill	20	10
<i>Croton</i> sp	20	10
<i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex Benth.	20	10
<i>Setaria vulpiseta</i> (Lam.) Roem. et Schult.	20	10
<i>Polygala hebeclada</i> DC.	20	10
<i>Borreria capitata</i> (Ruiz et Pav.) DC.	20	10
<i>Turnera ulmifolia</i> L. var. <i>elegans</i> Urb.	20	10

\*Espécie cultivada



Na Tabela 2.6 são apresentadas as 45 espécies encontradas em dunas em recuperação com cinco anos de idade e com irrigação, pertencentes a 18 famílias botânicas; as famílias mais numerosas em espécies foram, Gramineae com 10 espécies, Euphorbiaceae com 8 espécies, Fabaceae com 5 espécies, Cyperaceae e Rubiaceae com 3 espécies, Anacardiaceae, Compositae e Convolvulaceae com 2 espécies. As espécies mais frequentes foram, em ordem decrescente, *Anacardium occidentale*, *Cnidocolus urens*, *Scoparia dulcis*, *Paspalum maritimum* e *Paspalum vaginatum*. As que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescente, foram *Brachiaria mutica*, *Paspalum vaginatum*, *Anacardium occidentale*, *Digitaria insularis*, *Cyperus ligularis*, *Mimosa caesalpiniaefolia*, *Paspalum maritimum* e *Cnidocolus urens*. Neste tratamento as espécies *Anacardium occidentale*, *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Paspalum maritimum* foram plantadas, sendo que todas as demais surgiram espontaneamente.

TABELA 2.6. Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com cinco anos de idade e com irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Brachiaria mutica</i> (Forsk.) Stapf.	40	7500
<i>Paspalum vaginatum</i> Sw.	60	1050
<i>Anacardium occidentale</i> L.*	80	560
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.	20	350
<i>Cyperus ligularis</i> L.	20	350
<i>Paspalum maritimum</i> Trin.	60	300
<i>Cnidocolus urens</i> (L.) Arthur.	80	220
<i>Paspalum conjugatum</i> Berg.	60	120
<i>Passiflora foetida</i> L.	40	110
<i>Cenchrus echinatus</i> Schrder	40	110
<i>Tocoyena selloana</i> Schum.	40	110
<i>Solanum paludosum</i> Moric.	40	110
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	20	100
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.*	20	100
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	40	100
<i>Croton glandulosus</i> (L.) Muell.	40	100
<i>Ricinus communis</i> L.	20	100
<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.*	20	100
<i>Scoparia dulcis</i> L.	80	50
<i>Polygala hebeclada</i> DC.	40	20
<i>Setaria vulpiseta</i> (Lam.) Roem. et Schult.	40	20
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	40	20
<i>Dalechampia scandens</i> L.	40	20

Continua...

TABELA 2.6. Continuação

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sandw.*	20	10
<i>Cassia occidentalis</i> L.	20	10
<i>Commelina virginica</i> L.	20	10
<i>Alonia</i> sp	20	10
<i>Evolvulus</i> sp	20	10
<i>Ipomea pes-caprae</i> (L.) Sweet*	20	10
<i>Cyperus esculentos</i> L.	20	10
<i>Remirea maritima</i> Aubl.	20	10
<i>Croton lobatus</i> L.	20	10
<i>Dalechampia micromeria</i> Baill	20	10
<i>Euphorbia hirta</i> L.	20	10
<i>Euphorbia brasiliensis</i> Lam.	20	10
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	20	10
<i>Desmodium canum</i> DC.	20	10
<i>Indigofera hirsuta</i> L.	20	10
<i>Cassytha filiformis</i> Jacq.	20	10
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Will.) Hud.	20	10
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.F.W. Meyer	20	10
<i>Diodia teres</i> Walt.	20	10
<i>Turnera ulmifolia</i> L. var. <i>elegans</i> Urb.	20	10

\* Espécies cultivadas

Na Tabela 2.7 são apresentadas as 37 espécies encontradas em dunas em recuperação com cinco anos de idade e sem irrigação, pertencentes a 20 famílias botânicas; as famílias mais numerosas em espécies foram Euphorbiaceae e Gramineae com 6 espécies, Rubiaceae com 3 espécies, Commelineaceae, Compositae e Fabaceae com 2 espécies. As espécies mais frequentes foram, em ordem decrescente, *Cnidocolus urens*, *Remirea maritima*, *Canavalia rosea*, *Cenchrus equinatus*, *Rhynchelytrum repens*, *Paspalum maritimum*, *Scoparia dulcis* e *Waltheria indica*. As que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescentes, foram *Paspalum maritimum*, *Remirea maritima*, *Rhynchelytrum repens*, *Scoparia dulcis*, *Dalechampia scandens*, *Digitaria insularis* e *Turnera ulmifolia*. Neste tratamento a espécie *Paspalum maritimum* foi plantada, sendo que todas as demais surgiram espontaneamente.

Na Tabela 2.8, são apresentadas as 43 espécies encontradas em dunas em recuperação com sete anos de idade e com irrigação, pertencentes a 21 famílias botânicas; as famílias mais numerosas em espécies foram Euphorbiaceae e Fabaceae com 5 espécies, Compositae com 4 espécies, Caesalpiniaceae, Myrtaceae e Gramineae com 3 espécies, Anarcadiaceae, Commelinaceae, Cucurbitaceae, Mimosaceae e Solanaceae com 2 espécies. As espécies mais

TABELA 2.7. Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com cinco anos de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Paspalum maritimum</i> Trin.	60	3100
<i>Remirea maritima</i> Aubl.	60	2510
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Will.) Hud.	60	1360
<i>Scoparia dulcis</i> L.	60	210
<i>Turnera ulmifolia</i> L. var. <i>elegans</i> Urb.	40	200
<i>Digitaria insularis</i> L.	40	200
<i>Dalechampia scandens</i> L.	40	200
<i>Cnidocolus urens</i> (L.) Arthur.	80	130
<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	60	110
<i>Cenchrus echinatus</i> Schrder	60	110
<i>Solanum paludosum</i> Moric.	40	110
<i>Cassia rotundifolia</i> Pers.	20	100
<i>Waltheria indica</i> L.	60	30
<i>Tocoyena selloana</i> Schum.	40	20
<i>Mollugo verticillata</i> L.	40	20
<i>Euphorbia hirta</i> L.	40	20
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	40	20
<i>Cyperus esculentos</i> L.	20	20
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.*	20	10
<i>Casuarina equisetifolia</i> *	20	10
<i>Commelina bengualensis</i> L.	20	10
<i>Commelina virginica</i> L.	20	10
<i>Emilia sonchifolia</i> DC.	20	10
<i>Evolvulus</i> sp	20	10
<i>Cyperus ligularis</i> L.	40	10
<i>Euphorbia brasiliensis</i> Lam.	20	10
<i>Euphorbia hissoifolia</i> L.	20	10
<i>Crotalaria unifoliata</i> Benth.	20	10
<i>Desmodium canum</i> DC.	20	10
<i>Marsypianthes chamoederys</i> (Vahl) Kuntz.	20	10
<i>Calopogonio</i> sp	20	10
<i>Passiflora foetida</i> L.	20	10
<i>Eragrostis pilosa</i>	20	10
<i>Setaria vulpiseta</i> (Lam.) Roem. et Schult.	20	10
<i>Polygala hebeclada</i> DC.	20	10
<i>Borreria capitata</i> (Ruiz et Pav.) DC.	20	10
<i>Diodia teres</i> Walt.	20	10

\* Espécies cultivadas.

TABELA 2.8. Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com sete anos de idade e com irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Cyperus ligularis</i> L.	100	2460
<i>Commelina bengualensis</i> L.	60	2100
<i>Cucumis anguria</i> L.	20	750
<i>Trema micrantha</i> Blume.	20	750
<i>Anacardium occidentale</i> L.*	20	750
<i>Buchenavia capitata</i> (Vahl.) Eichl.*	40	700
<i>Sida ciliata</i> L.	40	360
<i>Paspalum maritimum</i> Trin.	20	350
<i>Commelina virginica</i> L.	20	350
<i>Digitaria insularis</i> L.	60	300
<i>Cnidioscolus urens</i> (L.) Arthur.	100	230
<i>Solanum paludosum</i> Moric.	80	220
<i>Solanum paniculatum</i> L.	60	210
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	40	200
<i>Turnera ulmifolia</i> L. var. <i>elegans</i> Urb.	60	120
<i>Digitaria horizontalis</i> L.	40	110
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	40	110
<i>Wulfia stenoglossa</i> DC.	20	100
<i>Emilia sagittata</i> (Vahl) DC.	40	100
<i>Momordica charantia</i> L.	40	100
<i>Croton lobatus</i> L.	20	100
<i>Zollernia ilicifolia</i> Benth.	20	100
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.*	20	100
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Veg.) Macbr.	20	100
<i>Eugenia ovalifolia</i> Camb.	20	100
<i>Eugenia punicifolia</i> (H.B.K.) DC.	20	100
<i>Dalechampia scandens</i> L.	20	100
<i>Inga barbata</i> Benth.	20	100
<i>Simaba ferruginea</i> St. Hil.	20	100
<i>Lantana camara</i> L.	20	100
<i>Hymenaea courbaril</i> L.*	40	20
<i>Zornia dyphylla</i> Pers.	40	20
<i>Aspidosperma</i> sp*	20	10
<i>Emilia sonchifolia</i> DC.	20	10
<i>Croton glandulosus</i> (L.) Muell.	20	10
<i>Euphorbia hirta</i> L.	20	10
<i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex Benth.	20	10
<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	20	10
<i>Zollernia latifolia</i> Benth.	40	10
<i>Schrankia leptocarpa</i> DC.	20	10
<i>Eugenia uvulha</i> Camb.	20	10
<i>Passiflora foetida</i> L.	20	10
<i>Scoparia dulcis</i> L.	20	10

\* Espécies cultivadas

freqüentes foram, em ordem decrescentes, *Cyperus ligularis*, *Cnidoscolus urens*, *Solanum paludosum*, *Commelina bengualensis*, *Digitaria insularis*, *Solanum paniculatum* e *Turnera ulmifolia*. As que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescente, foram *Cyperus ligularis*, *Commelina bengualensis*, *Anacardium occidentale*, *Cucumis anguria*, *Trema micrantha*, *Buchenavia capitata*, *Sida ciliaries*, *Commelina virginica*, *Paspalum maritimum*, *Digitaria insularis*, *Cnidoscolus urens*, *Solanum paludosum*, *Solanum paniculatum* e *Erigeron bonariensis*. Neste tratamento as espécies *Anacardium occidentale*, *Trema micrantha*, *Paspalum maritimum* e *Buchenavia capitata* foram plantadas, sendo que todas as demais surgiram espontaneamente.

Na Tabela 2.9 são apresentadas as 34 espécies encontradas em dunas em recuperação com sete anos de idade e sem irrigação, pertencentes a 17 famílias botânicas; as famílias mais numerosas em espécies foram Fabaceae e Gramineae com 5 espécies, Euphorbiaceae com 4 espécies, Caesalpinaceae, Compositae, Cyperaceae, Convolvulaceae, Malvaceae e Rubiaceae com 2 espécies. As espécies mais freqüentes foram, em ordem decrescente, *Cenchrus echinatus*, *Rhynchelytrum repens*, *Commelina bengualensis*, *Cyperus ligularis*, *Dalechampia scandens*, *Borreria verticillata*, *Cnidoscolus urens*, *Digitaria insularis* e *Scoparia dulcis*. As que apresentaram maior valor de cobertura, também em ordem decrescente, foram *Paspalum maritimum*, *Cenchrus echinatus*, *Rhynchelytrum repens*, *Cyperus ligularis*, *Cucumis anguria*, *Emilia sagittata*, *Cynodon dactylon* e *Buchenavia capitata*. Neste último tratamento as espécies *Paspalum maritimum* e *Buchenavia capitata* foram plantadas, sendo que todas as demais espécies surgiram espontaneamente.

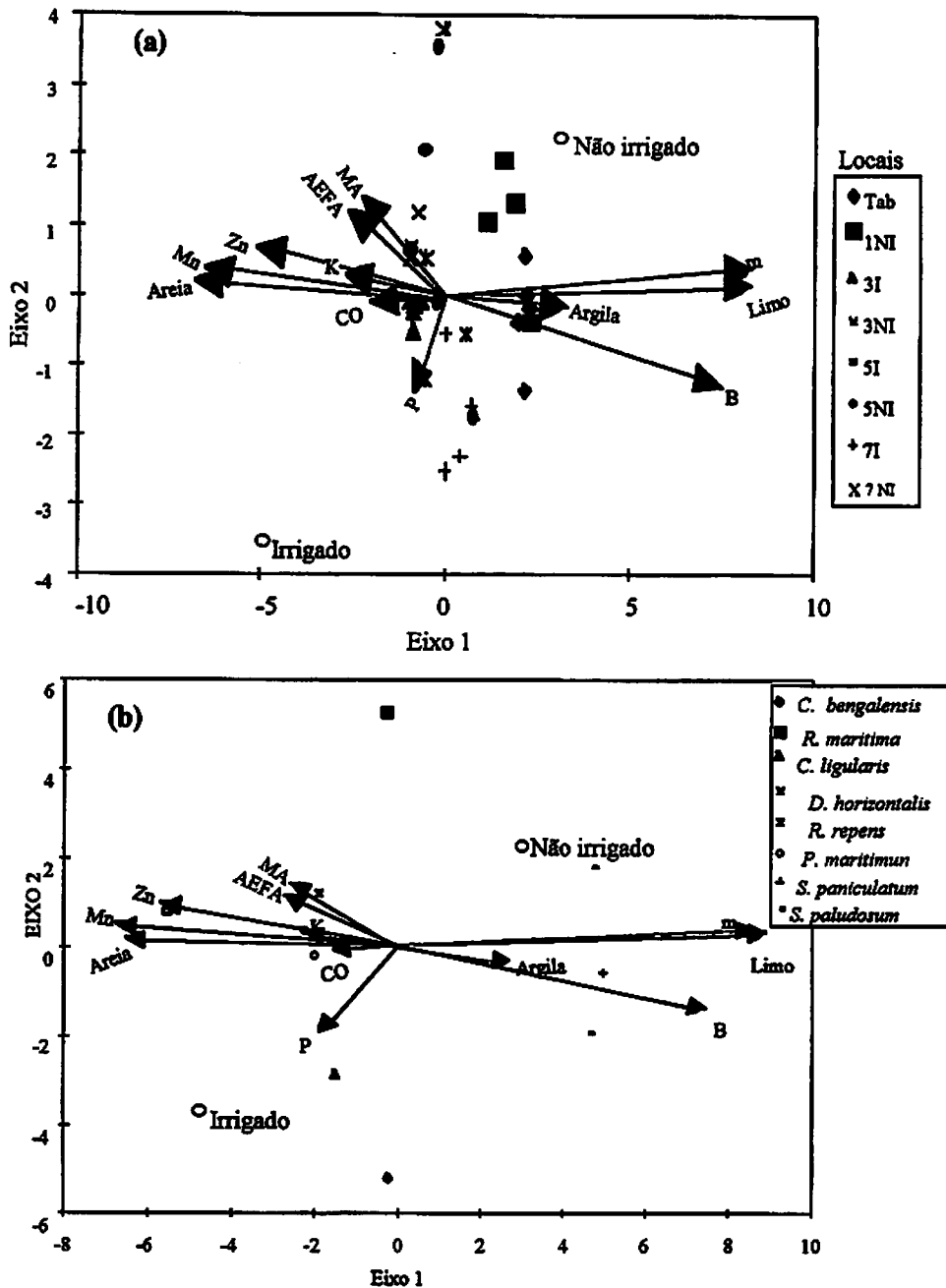
Os resultados da análise de correspondência canônica (CCA) são mostrados nos diagramas da Figura 2.1, ao passo que a Tabela 2.10 apresenta as correlações existentes entre as variáveis ambientais analisadas e os três primeiros eixos de ordenação. Os autovalores (*eigenvalues*) para os quatro primeiros eixos foram, do primeiro para o quarto, 0,526; 0,348; 0,246 e 0,166, sendo que as correlações espécie-ambiente apresentadas por estes eixos foram de 0,881; 0,815; 0,831 e 0,674. As porcentagens de variância acumuladas por estes eixos para os dados das espécies foram, respectivamente, 21,5%, 35,8%, 45,9% e 52,7% e para as relações espécie-ambiente, 36,5%, 60,3%, 77,3% e 88,7%. Estes últimos valores indicam que as variáveis ambientais medidas foram, aparentemente, suficientes para explicar a maior parte da variação da abundância das espécies relacionada ao ambiente, embora reste ainda uma quantidade de variação que é inexplicada. Ter Braak (1988) salienta, no entanto, que são comuns valores baixos nestas

relações, sendo que tal fato não diminui o seu significado. O teste de Monte Carlo vem reforçar estes resultados, já que as variáveis ambientais foram significativamente correlacionadas com as espécies ao nível de 1% de significância.

TABELA 2.9. Relação das espécies de plantas encontradas em dunas de rejeito de mineração com sete anos de idade e sem irrigação por aspersão, Mataraca-PB, com suas respectivas frequências e valores de cobertura.

Espécies	Frequência (%)	Valor de Cobertura
<i>Paspalum maritimum</i> Trin.	40	2500
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Will.) Hud.	100	2460
<i>Cenchrus echinatus</i> Schrder	100	2460
<i>Cyperus ligularis</i> L.	80	1960
<i>Cucumis anguria</i> L.	20	750
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	40	360
<i>Emilia sagittata</i> (Vahl.) DC.	40	360
<i>Buchenavia capitata</i> (Vahl.) Eichl. *	20	350
<i>Cnidocolus urens</i> (L.) Arthur.	60	120
<i>Digitaria insularis</i> L.	60	120
<i>Scoparia dulcis</i> L.	60	120
<i>Anacardium occidentale</i> L. *	40	110
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	40	110
<i>Indigofera hirsuta</i> L.	40	110
<i>Ipomea pes-caprae</i> (L.) Sweet	20	100
<i>Commelina bengualensis</i> L.	80	40
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.F.W. Meyer	80	40
<i>Dalechampia scandens</i> L.	80	40
<i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex Benth.	40	20
<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	40	20
<i>Remirea maritima</i> Aubl.	40	20
<i>Sida ciliaries</i> L.	40	20
<i>Polygala hebeclada</i> DC.	40	20
<i>Zornia dyphylla</i> Pers.	20	10
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	20	10
<i>Evolvulus</i> sp	20	10
<i>Euphorbia hirta</i> L.	20	10
<i>Euphorbia brasiliensis</i> Lam.	20	10
<i>Zollernia latifolia</i> Benth.	20	10
<i>Sida spinosa</i> L.	20	10
<i>Mollugo verticillata</i> L.	20	10
<i>Diodia teres</i> Walt.	20	10
<i>Solanum paniculatum</i> L.	20	10
<i>Turnera ulmifolia</i> L. var. <i>elegans</i> Urb.	20	10

\* Espécies cultivadas



**FIGURA 2.1.** Eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica dos dados das 40 parcelas amostradas na mata de restinga e dunas em recuperação irrigadas ou não por aspersão a partir dos 8 indivíduos com os maiores valores de cobertura na amostragem total. Os gráficos mostram as interrelações entre (a) a distribuição dos locais e as variáveis ambientais e (b) distribuição das espécies e variáveis ambientais. Os locais são identificados pelas três letras, sendo que estes foram separados de acordo com a situação em que foram classificados: mata de tabuleiro, um ano não irrigado, três anos irrigado, três anos não irrigado, cinco anos irrigado, cinco anos não irrigado, sete anos irrigado e sete anos não irrigado. As espécies são identificadas pelos seus nomes abreviados; os nomes completos encontram-se nas Tabelas 2.2, 2.3, 2.4 e 2.8. As escalas de ambos os gráficos são coincidentes. MA's = Micorrizas vesículo-arbusculares (MA's). AEFA = Atividade Específica de Fosfatase Àcida. CO = Carbono Orgânico. m = Saturação por alumínio.

TABELA 2.10. Análise de correspondência canônica (CCA): matriz de correlações ponderadas entre os quatro primeiros eixos de espécies e os eixos do ambiente, e estes com as variáveis ambientais. P, fósforo; K, potássio; m, saturação de alumínio da CTC efetiva; CO, carbono orgânico; areia; limo; argila; Zn, (zinco); Mn, (mangânês); B, (Boro); Esp, (esporos de MA's); AEFA, Atividade Especifica de Fosfatase Ácida; Irrig., (Irrigado); Nirrig., (Não Irrigado). Os fatores balanceados por parcela de amostragem são o número de indivíduos com valor de cobertura  $\geq 1000$  por espécie e as variáveis ambientais padronizadas pela média igual a zero e variância igual a unidade.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. P	1.00											
2. K	0.9	1.00										
3. m	-0.4	-.32	1.00									
4. CO	0.9	.22	-.44	1.00								
5. Areia	-.17	-.33	-.29	-.18	1.00							
6. Limó	-.07	.20	.51	-.09	-.79	1.00						
7. Argila	.31	.34	.03	.34	-.87	.39	1.00					
8. Zn	-.01	.45	-.41	.49	-.41	.13	.51	1.00				
9. Mn	.14	.18	-.57	.71	-.06	-.13	.19	.46	1.00			
10. B	.08	.24	-.17	.30	-.14	.07	.16	.19	.03	1.00		
11. MA's	-.07	.32	-.29	.41	-.37	.17	.42	.54	.52	-.04	1.00	
12. AEFA	-.23	.00	-.34	.20	.12	-.22	-.01	.37	.09	.16	.21	1.00

O primeiro eixo da ordenação relacionou-se principalmente com as variáveis ligadas ao limo e à saturação do alumínio da CTC efetiva, ao passo que o segundo eixo foi mais relacionado com MA's e fósforo. O diagrama (a) da Figura 2.1 mostra que o primeiro eixo separou as parcelas de forma nítida somente para as áreas de tabuleiro, um ano sem irrigação e três com irrigação por aspersão, onde neste último, houve uma tendência de se agrupar próximo ao primeiro eixo, ao lado esquerdo do gráfico. Destes, o grupo mais distinto foi o das parcelas de três anos com irrigação. As parcelas com um ano sem irrigação ficaram bem agrupadas no lado direito do gráfico, embora apresentando uma grande dispersão no sentido do segundo eixo. Para as parcelas com sete anos de idade e com irrigação, verificou-se do lado inferior direito do gráfico uma grande dispersão, principalmente em relação ao segundo eixo. As parcelas com três, cinco e sete anos sem irrigação apresentaram uma grande tendência de se misturarem com as parcelas com três, cinco e sete anos e com irrigação. As variáveis com mais altos autovetores com o primeiro



eixo foram, em ordem decrescente de importância, limo e saturação do alumínio da CTC efetiva, sendo estas profundamente interrelacionadas. Com exceção das áreas de tabuleiro e um ano não irrigado, não se consegue uma definição clara quanto as outras áreas. As variáveis mais relacionadas com o segundo eixo foram, em ordem decrescente, boro, atividade específica de fosfatase ácida e esporos de MA's.

Espécies preferenciais de tabuleiro e dunas com um ano e sem irrigação foram: *Solanum paniculatum*, *Solanum paludosum* e *Digitaria horizontalis* ; as espécies preferenciais para áreas com três anos e com irrigação, foram *Paspalum maritimum* e *Rhynchelytrum repens*; a espécie preferencial para dunas com três e cinco anos sem irrigação foi a *Remirea maritima* e para dunas com sete anos e com irrigação foi *Commelina bengualensis*; a espécie preferencial para dunas com sete anos e sem irrigação foi *Cyperus ligularis*.

## 2.4 DISCUSSÃO

Em relação a estrutura da comunidade herbáceo-arbustiva, houve uma diferenciação marcante entre as parcelas de tabuleiro e dunas em recuperação. O tabuleiro é conhecido como ocorrência disjunta do cerrado em áreas de solos arenosos próximas ao litoral Nordeste, normalmente sobre a formação geológica Barreiras (Andrade Lima, 1960), situação esta, já esperada em relação as condições estudadas, devido a predominância de espécies típicas dos cerrados do Brasil Central (Oliveira-Filho et al., 1986).

Para as dunas em recuperação, mesmo considerando as condições adversas de alta salinidade, baixos teores de matéria orgânica, mobilidade do substrato e susceptibilidade a constantes ventos alísios, estabeleceu-se principalmente nas dunas de 1 ano um tipo de vegetação altamente especializado e bastante limitado em composição. Este compõem-se basicamente de espécies pioneiras, que são as primeiras a se instalarem na área, através da ajuda antrópica (plantios programados) e germinação de sementes e propágulos vegetativos, originários do recapeamento de solo das dunas com solo superficial de matas anteriormente suprimidas. Isto permite que haja uma maior retenção de areia, possibilitando assim a estabilização destas dunas, e contribuindo para sua fixação ao impedir que a areia seja transportada pela ação dos ventos alísios.

Vale ressaltar que estas espécies mostram características xeromórficas, correlacionadas com os efeitos dos borrifos da água salgada e às condições de um substrato móvel

de baixa capacidade de campo (Gevertz, 1983). Além disso, algumas dessas plantas pioneiras desenvolveram adaptações morfológicas à sobrevivência nestas condições, tais como o desenvolvimento de caules subterrâneos, do tipo rizoma, formando assim um sistema caulinar extenso e capaz de fixar a planta na areia frouxa; e de caules rastejantes que lhes permite crescer para cima e para os lados sobre os depósitos recentes de areia.

De um modo geral a vegetação apresentou-se bastante rarefeita, com a maioria das espécies ocorrendo em densidade e frequência muito baixas, exceção feita às espécies das famílias Graminae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Cyperaceae. Esta última família, embora prefira, segundo Schultz (1985), locais úmidos e brejosos, ocorre em lugares secos e até mesmo na areia pura.

Na base das dunas em recuperação, a areia é extremamente fina e paupérrima em nutrientes, entretanto, à medida em que se sobe as dunas, os grãos de areia vão se tornando cada vez mais grossos e o terreno mais compacto e escuro. Isto se deve à grande variabilidade de tratamentos culturais e movimentação de maquinário pesado para distribuição de camadas de solo.

Devido à grande heterogeneidade nestes pontos mais altos e em início de recuperação, observa-se uma quase inexistência de vegetação, vindo esta a concentrar-se nos topos das dunas, assumindo características de agrupamentos. Constata-se aí a presença de uma maior cobertura vegetal, não só pela variedade crescente de plantas, como também pelo aumento no porte dos indivíduos. Compostas, labiadas e euforbiáceas encontram-se próximas a arbustos, como o cajueiro (*Anacardium occidentale*), com aproximadamente 3m de altura.

Um aspecto florístico observado através das tabelas de vegetação em cada condição foi a frequência da inflorescência do tipo glomerular (Cyperaceae, *Borreria* e *Marsypianthes*) entre os espécimes coletados nas áreas de tabuleiro e dunas em recuperação, principalmente em áreas com três e cinco anos irrigadas ou não e sete anos sem irrigação. Estas espécies juntamente com a Compositae, que lá ocorrem (inflorescência em capítulo), evidenciam a necessidade da existência de uma maior proteção dos frutos, que é dada pelas brácteas ou cálices paliáceos que possivelmente guardam umidade e facilitam a dispersão pelo vento quando secos (Andrade, 1968).

Depois que as plantas pioneiras se instalam modificam-se gradativamente as condições anteriormente existentes. Isso se dá principalmente pelo fato destas plantas oferecerem uma certa proteção com sua sombra, de impedirem grandes movimentos de areia e de, eventualmente, haver incorporação de suas partes mortas como matéria orgânica ao solo incipiente. Porém, ressalta-se que a grande incidência de espécies da família Gramineae pode gerar

uma alta competição, que é expressa pelo crescimento rápido por perfilhamento, especialmente pelas espécies dominantes, provocando uma rápida cobertura do solo e dificultando a invasão de outras plantas, o que é confirmado pelos altos valores de cobertura da família Gramineae nas condições iniciais de recuperação das dunas (até cinco anos), principalmente a espécie *Paspalum maritimum*, nativa da região estudada. Para *Paspalum maritimum* verifica-se que esta espécie parece ser bem adaptada às condições das dunas de rejeito, devido a sua grande capacidade de colonização. Observa-se através de sua abundância, decorrente de cultivos nas referidas áreas em reabilitação, que existe uma grande possibilidade desta espécie estar inibindo o desenvolvimento de outras espécies nas áreas, fato este, também, descrito por Carvalho e Oliveira-Filho (1993). Já que estas foram plantadas, comprovando a habilidade das gramíneas em invadir e dominar diferentes comunidades de plantas sob regime de impactos ambientais (Evans e Young, 1972). Klein (1980) em estudos realizados no litoral de Santa Catarina observa que existem situações peculiares em que algumas espécies se expandem amplamente e em alta densidade em florestas secundárias, sendo provenientes de ambientes muito particulares dentro de vegetações sem distúrbios antropogênicos. São os casos de *Dodonea viscosa* e *Rapanea ferruginea* no Vale do Itajaí, que predominam em determinados estágios da sucessão secundária, formando Dodonietos e Rapanietos. *Dodonea viscosa* tem sua ocorrência natural nas restingas do litoral brasileiro, de onde se espalhou para áreas degradadas em vários estados do Brasil, invadindo culturas e pastagens abandonadas. Igualmente, essa espécie ocorre em solos muito arenosos e pobres, com síndrome de polinização entomofílica e dispersão de sementes anemocórica, facilitando sua ocupação em vastas áreas degradadas daquela região. Odum (1986) relata, na sua teoria da influência da competição na seleção do habitat, que havendo competição com outras espécies ecologicamente semelhantes - caso da floresta natural conservada - a gama de condições de habitat que as espécies ocupam geralmente restringe-se à ótima. Onde a competição interespecífica é menos intensa - caso da colonização de ambientes degradados - a competição intra-específica geralmente provoca uma preferência mais ampla de habitat. Assim, antes de introduzirmos qualquer espécie nativa em áreas em recuperação devemos levar em consideração algumas características, visando identificar a potencialidade e restrição de uso, quais sejam: ação como invasora; agressividade; prolificidade; dispersão ampla de sementes; propagação vegetativa; ciclo de vida e regeneração natural (Klein, 1980).

Nas áreas em estudo para tabuleiro, as famílias que apresentaram de forma comum o maior número de espécies foram Gramineae e Compositae; com um ano e sem irrigação foram

Gramineae e Cyperaceae; com três e cinco anos irrigados ou não as famílias representativas foram Gramineae e Euphorbiaceae (forte indicativo de sucessão); para sete anos e com irrigação as famílias representativas foram Euphorbiaceae e Fabaceae, já com sete anos e sem irrigação foram seguidas das famílias Fabaceae e Gramineae. Carvalho e Oliveira-Filho, 1993, relatam ainda que a família Fabaceae é mais adaptada a colonizar ambientes estéreis como é a areia, e que as gramíneas, apesar de serem muitas vezes disseminadas pelo vento (que é forte na região) ficaram em segundo plano, mas em grande abundância, provavelmente pela maior quantidade de sementes ou por estas encontrarem, quando trazidas pelo vento, condições de estabelecimento mais favoráveis.

As espécies *Cnidoscolus urens* (Euphorbiaceae), *Rhynchelytrum repens* (Gramineae) e *Cyperus ligularis* (Cyperaceae) são comuns no grupo das mais frequentes (acima de 80% de frequência) em todas as condições estudadas, exceto para tabuleiro, onde as mais frequentes foram *Polygala hebeclada* (Polygalaceae) e *Erigeron bonariensis* (Compositae) (acima de 60% de frequência). *Paspalum maritimum*, *Cenchrus echinatus* (Gramineae) e *Cyperus ligularis* (Cyperaceae) são comuns no grupo das mais abundantes nas áreas em recuperação. Nas áreas de tabuleiro *Solanum paludosum* e *Solanum paniculatum* (Solanaceae) foram as mais abundantes. Estes dados condizem com Miranda (1994) a respeito das espécies *Cenchrus echinatus* e *Rhynchelytrum repens* em termos de frequência e abundância em áreas de dunas com um e dois anos depositados com solo orgânico, indicando serem estas algumas das espécies a germinarem e dominarem na área logo após a deposição do solo orgânico, sendo, após algum tempo, sucedidas por outras espécies. Miranda (1994), relata que está havendo uma mudança na dominância das espécies na comunidade de plantas ruderais com o passar dos anos, o que indica que em processo de sucessão vegetal já se estabeleceu, ainda que na fase inicial. Foi evidenciado também que a biomassa epígea prosseguiu aumentando até o terceiro ano pós-dispersão, o que confirma o acúmulo de biomassa, típico de fases iniciais de sucessão.

O número de parcelas amostrais lançadas nas dunas em relação ao trabalho de Carvalho e Oliveira-Filho (1993), foram superiores em 14%, porém encontrando o mesmo número de espécies (72), mas com um maior número de famílias (33). Este fato indica que pode estar havendo um declínio no número de espécies, talvez pouco adaptadas, que precisaria ser confirmado através de um levantamento mais detalhado. A maioria dos modelos explica que as comunidades vegetais tendem a uma maior diversidade, à medida que se aproximam da estabilidade (clímax). Outros admitem que pode acontecer o contrário em alguns tipos de

ecossistemas (Smith, 1976). Outro fato que deve ser levado em consideração é que existiu uma drástica modificação no ambiente através da mineração, o que pode estar modificando as interações ocorridas no processo de sucessão. Isto equivale a dizer que, se existe um gradiente de adaptação das espécies em condições naturais, este deve ser pesquisado para subsidiar o estabelecimento de uma ordem cronológica e ser imitada nos plantios em recuperação (Rosado et al. 1994). Gisler e Meguro (1993), trabalhando na Alcoa S/A em áreas mineradas de bauxita em Poços de Caldas, MG, com diferentes quantidades de serapilheira para verificar o desenvolvimento de espécies sucessionais, verificaram que após um ano e cinco meses foi observada a presença de 34 espécies de 15 famílias em tratamentos com remoção de "topsoil", 36 espécies de 17 famílias em tratamentos com 2.860Kg de serapilheira de mata e 49 espécies de 19 famílias em tratamentos com 17.869Kg de serapilheira de mata. Neste sentido observa-se a importância de se colocar a serapilheira nas dunas em recuperação, pois no contexto da abordagem de Clements (1916, 1928), a técnica da aplicação da serapilheira é importante porque melhora significativamente a quantidade e diversificação da dispersão de propágulos nas áreas degradadas. No caso da mineração a céu aberto, para prever e gerenciar a recuperação após uma perturbação, deve-se conhecer com detalhes o padrão de sucessão e o potencial de recuperação do ecossistema em questão, a fim de que os esforços feitos no sentido de se regenerar o sistema, viabilizem os processos naturais de recuperação (Odum, 1988).

Sobre a hipótese formada à respeito da irrigação observa-se que está havendo um favorecimento tanto para número de espécies como número as famílias nas áreas em recuperação, e que, além dos custos inerentes à própria irrigação, pôde-se constatar que a artificialidade desse processo favoreceu o surgimento de espécies não adaptáveis ao meio, e que desaparecerão caso seja suprimida a irrigação. Carvalho e Oliveira-Filho (1993), relatam a ocorrência de espécies típicas de várzea, como a embaúba-do-brejo (*Cecropia peltata*) e o gurguri (*Calophyllum brasiliensis*), que certamente não superarão o crivo das espécies potenciais. No levantamento realizado nas áreas com sete anos e com irrigação foi encontrado também o ingazeiro (*Inga barbata*), típico de áreas ribeirinhas. Também, a irrigação pode induzir uma arquitetura/morfologia radicular que diminui a tolerância da planta aos estresses hídricos e nutricionais e, que em que solos arenosos sob recuperação sofrem o processo de alta lixiviação para alguns nutrientes, principalmente potássio e magnésio, o que é comprovado por Barroso (1994). Outro fator limitante neste sentido é a falta de sólidas referências bibliográficas sobre o uso da irrigação na recuperação de áreas degradadas, mostrando a necessidade de se conduzirem



pesquisas no sentido de se avaliar seus custos e benefícios, já que em áreas com 7 anos irrigadas, o sistema de irrigação se mostra ineficiente, devido a projeção da irrigação estar sendo interferida pela projeção das copas dos arbustos e árvores, cabendo desta forma se avaliar a conveniência no sentido de suprimi-la, para verificar-se o que aconteceria com as espécies adaptadas à estas condições.

O CCA separou claramente as parcelas de tabuleiro e dunas com um ano sem irrigação dos demais locais, ao passo que as dunas com três, cinco e sete anos, irrigadas ou não se apresentaram dispersas e não evidenciaram a existência de um gradiente de sucessão. Isto reforça a idéia de que outras variáveis ambientais, tais como luz, vento, temperatura e umidade do solo, bem como a evapotranspiração, podem estar interferindo mais fortemente sobre o processo de sucessão.

Para as espécies em processo de sucessão ao longo dos anos em recuperação das dunas de rejeito verifica-se que para as áreas com três, cinco e sete anos e sem irrigação, uma preferência para as espécies *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens* e *Remirea maritima*, indicando que provavelmente a não irrigação e as próprias características destas espécies podem estar selecionando as mesmas, pois apesar de colonizarem terrenos desnudos, estas aumentam sua frequência após o segundo ano de deposição de solo orgânico. Isto ocorre porque possivelmente as sementes destas espécies estão em baixa frequência na serapilheira advinda da mata de restinga e, sendo a dispersão de suas sementes feitas pelo vento, estas alcançam as dunas de rejeito advindas por outras fontes, porém levando um maior tempo para colonização que outras espécies mais abundantes no solo orgânico da restinga. A irrigação, como pode ser observado pelo CCA, pode estar favorecendo outras espécies, tais como *Cyperus ligularis* e *Commelina bengualensis* em áreas de cinco e sete anos, caracterizando uma outra condição para um processo de sucessão. Diante deste quadro, observa-se que mudanças nas comunidades estabelecidas naturalmente em áreas mineradas abandonadas foi encontrada por outros pesquisadores (Mcgonigle et al. 1990; Richardson, 1988). Sabe-se que as operações de mineração causam distúrbios nas comunidades naturais, e assim sugere-se que sejam feitas pesquisas mais precisas nestas áreas, e que retire a irrigação em áreas com 7 anos, para analisar se realmente o processo de sucessão chegará a atingir o estado da comunidade original de restinga. Sobre este aspecto, Sheiran et al (1976), sugerem que as operações de mineração podem ter um impacto irreversível sobre as comunidades naturais, ou ainda destruí-las, podendo criar um ecossistema com plantas e animais diferentes ao que viveram originalmente, e modificando o processo de sucessão.

Importante também neste sentido foi o grande número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA's) encontrados para dunas com cinco anos nestas áreas, que concordam com Read (1989), onde relata que espécies de famílias Cyperaceae, Convolvulaceae e Commelineaceae, consideradas principalmente como não micotróficas, tem também sido denominadas como micorrízicas em outras dunas. Do ponto de vista de sucessão de plantas sobre dunas arenosas, o fato é que o desenvolvimento da microflora do solo é estritamente associado com a sucessão vegetal e de considerável significância. Hoje, já sabe-se que a atividade dos microrganismos do solo contribuem para a maturação no habitat, e entretanto constitui um fator biótico adicional, isto influenciando outros fatores mais familiares que causam mudanças na comunidade das plantas (Janos, 1980).

A tentativa de separação de espécies em diferentes grupos quanto à sucessão secundária, é uma preocupação que vem tendo diversos autores (Budowski, 1965; Deslow, 1980; Whitmore, 1982). Entender o papel de cada grupo de espécies na dinâmica da floresta natural, assim como separar esses grupos e a simulação das diferentes situações da mata nas condições de plantio, é o desafio com que se deparam aqueles que se propõe a restaurar florestas tropicais. Um aspecto importante neste sentido, principalmente em pastagens abandonadas é a tendência natural da sucessão avançar, não de modo uniforme, mas na forma de manchas ou ilhas de vegetação que se expandem para ocupar espaços vazios entre elas. Essas ilhas de vegetação no meio da área degradada servem de "postos avançados" para propagar o recobrimento vegetal (Uhl, 1982; Kolb, 1992; Parrota, 1993).

## 2.5 CONCLUSÕES

A CCA separou as parcelas de tabuleiro e dunas com um ano dos demais locais, enquanto que as dunas com três, cinco e sete anos irrigadas ou não, apresentaram-se dispersas e não evidenciaram a existência de um gradiente de sucessão em função das variáveis do solo e irrigação.

Os locais estudados, mesmo que profundamente perturbados, mantém uma comunidade fúngica potencialmente favorável à evolução de ecossistemas, verificado pelo número de esporos de micorrizas vesículo-arbusculares (MA's), principalmente nas áreas com cinco anos de idade e sem irrigação.

Outras variáveis ambientais, tais como: luz, vento, temperatura e umidade do solo, que são extremamente variáveis nos locais de estudo, podem estar interferindo no processo de sucessão de forma mais efetiva que as variáveis do solo.

Nas dunas em recuperação houve alterações nas espécies dominantes em função da irrigação e do aumento das idades das mesmas, onde as gramíneas *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens*, *Digitaria horizontalis* foram as espécies com maior valor de cobertura, principalmente, nas áreas de 1 a 5 anos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, R. M. C. M. **Propriedades químicas e bioquímicas e suas interrelações em solos sob vegetação de mata e campo adjacentes.** Lavras: UFLA. 1995. 84 p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ALLEN, E. B.; ALLEN, M. F. Competition between plants of different successional stages: mycorrhizae as regulators. **Canadian Journal Botanic.** Toronto, v.62, n.2, p.2625-2629. Outubro, 1984.
- ALLEN, E. B.; ALLEN, M. F. The mediation of competition by mycorrhizae in successional and patchy environments. In: GRACE, J. B. ; TILMAN, G. D. (eds) **Perspectives on plant competition.** New York. Academic Press, 1990. p. 367-389.
- ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco, Brasil. **Arquivo do Instituto de Pesquisas Agronômicas.** v.5, n.1, p.305-341, 1960.
- ANDRADE, M. A. B. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas das dunas do litoral do Estado de São Paulo. **Acta Botânica,** v.22, n.2, p.3-170. Setembro, 1968.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.** Wallingford : CAB International, 1992. 221 p.
- ARAÚJO, D. S. D. ; LACERDA, L. D. A natureza das restingas. **Ciência Hoje,** São Paulo, v.6, n.4, p.42-48, Outubro, 1987.
- BAGGIO, A. O. O papel da silvicultura alternativa na proteção florestal. **Silvicultura,** São Paulo, v.41, p.55-57, 1986.
- BARBOUR, M. G. ; DE JONG, T. M.; PAVLICK, B. M. Marine beach and dune plant communities. In: CHABOT, B. F. ; MOONEY, H. A. (eds.) **Physiological ecology of North American plant communities.** New York: Chapman and Hall, 1985. p.297-322.
- BARNHISEL, R.; BERTSCH, P. M. Aluminium. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (ed.) **Methods of analysis chemical and microbiological properties.** 2. ed. Madison: ASA, 1982. pt.2, p.275-296.
- BARTH, R. C. Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil. In: SIF - SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÃO FLORESTAL, **Métodos de recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: UFV, 1989. p.1-41. (SIF, Boletim Técnico, 1).

- BARROSO, D. G. **Estudo de alguns atributos químicos e físicos dos substratos utilizados no processo de estabilização de dunas de rejeito resultantes de exploração mineral.** Lavras: ESAL, 1994. 56 p. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).
- BELL, T. J.; UNGAR, I. Factors affecting the establishment of natural vegetation on a coal strip mine spoil bank in southeastern Ohio. *The American Midland Naturalist*, Ohio, v.105, n.1, p.19-31, 1981.
- BESSA, H. **Relatório final de pesquisa para zircão em Mataraca - Paraíba. RIB - Rutilo e Ilmenita do Brasil S. A., Mataraca/ PB, Areias: Universidade de Areias, 1975. 17 p.**
- BLASZKOWSKI, J. Arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) of the Hel Peninsula, Poland *Mycorrhiza*. Massachusetts, v.5, n.2, p.71-88, 1994.
- BORKERT, C. M. Manganês. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. eds. **Micronutrientes na Agricultura.** Piracicaba: POTAFOS. 1991. p. 173-90.
- BRAUN-BLANQUET, J. **Fitossociologia - bases para el estudio de las comunidades vegetales.** Rosário, Madrid: H. Blume ediciones, 1979. 820 p.
- BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.14, n.3, p.319-329, Mar. 1982.
- BROOKES, P. C.; LANDMAN, P.; PRUDEN, G. et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 17, n.6, p. 837-842, June 1985.
- BROWN, S. Tropical forests and the global carbon cycle: the need for sustainable land-use patterns. *Agriculture, Ecosystems and Environment* New York, v.46, n.4, p.31-44. Mar. 1993.
- BUDOWSKI, G. Distribution of Tropical American Rain Forest Species in the Light of Successional Progress. *Turrialba*, Costa Rica, v.15, n.3, p.40-42, Out. 1965.
- CARDOSO, E. J. B. N. & FREITAS, S. S. A rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAL, S. M. & NEVES, M. C. P. **Microbiologia do Solo.** Campinas: Ceres. 1992. Cap. 4, p.42-57.
- CARVALHO, M. A. de. **Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solo com horizonte B Latossólico e B Textural.** Lavras: ESAL. 79p. 1985. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CARVALHO, B. A. **Ecologia e Poluição.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1975. 177 p.
- CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas de rejeito de mineração, em Mataraca/PB. *Acta Botânica Brasileira*, Manaus, v.7, n.2, p.107-117, 1993.

- CAUSTON, D. R. **An introduction to vegetation analysis, principles, practice and interpretation**. London: Unwin Hyman, 1988. 342p.
- CHENG, W.; VIRGINIA, R. S. Measurement of microbial biomass in arctic tundra soil using fumigação-extraction of substrate-induced respiration procedures. **Soil biology Biochemistry**. Oxford, v.25, n.1, p.135-141, 1993.
- CLEMENTS, F.E. **Dynamics of vegetation**. Comp. by W. ALFRED and E. S. CLEMENTS, New York: H. W. Wilson, C., 1949. 296p.
- CLEMENTS, F. E. **Plant Sucession and Indicators**. New York. Wilson, 1928. 453 p.
- CLEMENTS, F. E. **Plant sucession: An analysis of the development of vegetation**. Washington: Carnegie Institute Publication 242. 1916. 512 p.
- DALPÉ, Y. Inventaire et repartition de la flore endomycorrhizienne de dunes et de rivage maritimes du quebec, du nouveau-brunswick et de la nouvelle-ecosse. **Nature Canadian**. Toronto. v.166, n.4, p.219-236, Marc. 1989.
- DANTAS, J.R. **Mapa geológico do Estado da Paraíba**; Texto explicativo, CDRM, Campina Grande, ilustr., mapa. João Pessoa: Ceres, 1982. 134 p.
- DANSEREAU, B. Zonation et sucession sur la restinga de Rio de Janeiro I. Halosére. **Rev. Canad. Biol.** Quebec, v.6, n.3, p.448-477, 1947.
- DAUBENMIRE, R. **Plant communities, a textbook of plant synecology**. New York: Harper; Row, 1968. 338p.
- DELA CRUZ, R. E.; MANALO, M. G.; AGGANGAM, N. S. & TAMBALO, J. D. Growth of three legume trees inoculated with VA-Micorrhizal fungi and rhizobium. **Plant and Soil**, The Hague, v.108, n.3, p.111-115, 1988.
- DELITTI, W. B.C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: BARBOSA, L. M. (coord.) **Anais Simpósio sobre Mata Ciliar**. Campinas: Fundação Cargill. 1989. p.88-97.
- DENSLOW, J. S. Gap Partioning Among Tropical Forest Trees. **Biotropica**, St. louis, v.12, n.5, p. 47-55, 1980.
- DOTÉ SÁ, T. **Mineração de ilmenita, zirconita e rutilo no sistema natural litorâneo da área da mina guaju no Município de Mataraca - Paraíba**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 1995a. 35p. (monografia).
- DOTÉ SÁ, T. **Mineração a céu aberto mecanizada com desmontes descendentes de corpos dunares. Notas de aula do Curso Reabilitação de Áreas Degradadas pela Mineração - Estudo de Caso**. João Pessoa: 1995b. 356 p., (Apostila).V. ASSUDE - SUDEMA/ CCA.
- EIRA, A. F. Solubilização microbiana de fosfatos. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. & NEVES, M. C. P. **Microbiologia do Solo**. Campinas: Ceres. 1992. Cap. 18, p.243-255.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Laboratório de Ciência do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. 156p.
- EVANS, A. R.; YOUNG, J. A. Competition within the grass community. In: YOUNGNER, V. B.; McKELL, C. M. **The biology and utilization of grasses**. New York: Academic Press, 1972. Cap. 16, p.230-246.
- FARMER Jr., R. E.; CUNNINGHAM, M.; BARNHILL, M. A. First year development of plant communities originating from forest topsoils placed on souther appslachian minesoils. **Journal of Applied Ecology**, Aberdeen, v.19, n.3, p.283-294. 1982.
- FASBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina**. 2. ed. rev. San José: IICA. 1987. 420 p.
- FONSECA, F. Os efeitos da mineração sobre o meio ambiente. **Brasil Mineral**. Brasília, v.7, p.74-80, 1989.
- FONTES, M. P. F. Estudo pedológico diminui impactos da mineração. **Ambiente**. São Paulo, v.5, n.1, p.58-62. Outubro, 1991.
- FORD, I.; LANGKAMP, P. Re-establishing Australia's flora on mined areas. In: AUSTRALIAN MINING INDUSTRY COUNCIL. **Mining and the return of the living environment**. Australia. 1987, p.15-19.
- GEMMA, J. N.; KOSKE, R. E. Seazonal variation in spore abundance and dormancy of *Gigaspora gigantea* and in mycorrhizal inoculum potencial of a dune soil. **Mycologia**. Oxford, v.80, n.3, p.211-216, june, 1988.
- GEMMA, J. N.; KOSKE, R. E. Field inoculation of American beachgrass (*Ammophilla breviligulata*) with VA mycorrhizal fungi. **Journal Environment Management**, London, v.29, n. 5, p.173-182, 1989.
- GEMMA, J. N.; KOSKE, R.E. Are micorrhizal fungi present in early stages of primary sucession. In: READ, D. J. ; LEWIS, D. H. ; FITTER, A. H. & ALEXANDER, I. J. (eds) **Mycorrhizas in ecosystems**. p. 183-189. Cambrige: CAB International, University Press, 1992.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T. H. Spores de mycorrhizal endogene espécies extracted from soil by wet sieving and decanting. **Translation Britanic Mycologic Sociate**. London, v.46, n.2, p.235-344, june, 1963.
- GEVERTZ, R. **Em busca do conhecimento ecológico: uma introdução à metodologia**. São Paulo, Edgard Blücher. 1983, 110 p.
- GIOVANNETTI, M.; NICOLSON, T.H. Vesicular-arbuscular mycorrhizas in Italian sand dunes. **Translation Britanic Mycologic Sociate**. London, v.80, n.5. p.552-557. Marc. 1983.

- GIOVANNETTI, M. Seasonal variations of vesicular arbuscular mycorrhizas and endogonaceous spores in a maritime sand dune. *Translation Britanic Mycologic Sociate*. London, v.84, n.3, p.679-684, Set. 1985.
- GISLER, C. V. T.; MEGURO, M. Alguns aspectos do uso da serapilheira como prática de recuperação de áreas mineradas de bauxita. In: CONGRESSO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS. 2, São Paulo. Anais ... 1993. Ouro Preto, Ceres. 1993. p.9
- GRIFFITH, J. J. **Recuperação Conservacionista de Superfícies Mineradas: Uma Revisão de Literatura.** Viçosa: UFV. 1980. 51 p. (Boletim Técnico SIF, 2).
- GRIFFITH, J. J. **O estado da arte de recuperação de áreas mineradas no Brasil.** In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1, Curitiba: FUPEF, 1992. p.77-82.
- HASSINK, J. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.26, n.9, p.1221-1231, Sept.1994.
- HOEFT, R.G.; WALSH, L. M.; KEENEY, D. R. Evaluation of various extractantes for available soil sulfur. *Soil Science Society American Proceedings*, Madison, v.37, n.3, p. 401-404, May/June, 1973.
- HOPE, A. C. A. A simplified monte carlo significance test procedure. *Journal Royal Statical Society*. Series B, London, v.30, n.4, p.582-598, Sept. 1968.
- HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S. Transformações microbianas de outros elementos (Potássio, micronutrientes e metais pesados). In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. *Microbiologia do Solo*. Campinas: Ceres. 1992. Cap. 23. p.329-340.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração e meio ambiente.** Brasília: IBRAM. 1992. 126 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração e meio ambiente: Impactos previsíveis e formas de controle.** Belo horizonte. 1985. 64p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENONÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília. 1990. 95 p.
- INTERNATIONAL UNION of FORESTRY RESEARCH ORGANIZATIONS. **Caring for the forest: Research in a changing Word.** XX IUFRO Word Congress, Tampere, Finland, 634p. 1995.
- JANOS, D.P. Mycorrhizae influence tropical sucessional. *Biotropica*. St. Louis, v.12, n.4, p.56-64. Mar. 1980.

- KELLMAN, M.; ROULET, N. Nutrient flux and retention in a tropical sand-dune succession. *Journal Ecology*. Aberdeen, v.78, n.7, p.664-676, June, 1990.
- KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis: 1 practical approach**. Lonares: Belhaven Press, 363p. 1992. Cap. 5-6, 356p.
- KLEIN, R. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. *Acta Botanica Brasilica*, Rio de Janeiro, n.8, v.32, p.9-389. 1980.
- KOLB, S. R. **Islands of secondary vegetation in degraded pastures of Brasil: Their role in reestablishing Atlantic Coastal Forest**. Athens: University of Georgia. 1992. (Dissertation - Doctor in Botanic). 128p.
- KOSKE, R. E. & POLSON, W. R. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization? *Bioscience*. Oxford. v.34, n.6, p.420-424. 1984.
- KOSKE, R. E.; HALVORSON, W. L. Ecological studies of MVA in a barrier sand dune. *Canadian Journal Botanic*. Quebec, v.59, n.3, p.1413-1422. Marc. 1981.
- KOSKE, R. E.; HALVORSON, W. L. Mycorrhizal associations of selected plant species from san Miguel island, channel island national park, California. *Pacific Science*. California. v.43, n.2, p.32-40. June, 1989.
- LANYON, L. E.; HEALD, W. R. Magnesium, calcium and barium. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KENNEY, D. R. (ed.) **Methods of Soil Analysis: chemical and microbiological properties**. s ed. Madison: ASA, 1982. Pt. 2, p. 247-260.
- LOPES, E. S.; SIQUEIRA, J. D.; ZAMBOLIM, L. Caracterização das micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, n.1, p.1-19. Setembro, 1983.
- LUGO, A. E. Restoration ecology. *Ambio*. The Hague, v.22, n.4, p.106-109. Apr, 1994.
- MABESOONE, J. M.; CASTRO, C. Desenvolvimento geomorfológico do nordeste brasileiro. *Boletim do Nucleo Nordestino da Sociedade Brasileira de Geologia*. Ceará, v.3, n.5, p.5-35. 1975.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higer plants**. London: Academic Press. 1986. 672p.
- MAUN, M. A. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. *Vegetatio*. The Hague. v.111, n.5, p.59-70, Dec. 1994.



- MAUN, M.A.; KRAJYNK, I. Stabilization of great lake (USA, Canadá) sand dunes; effect of planting time, mulches and fertilizer on seedling establishment. **Journal of Coastal Research**, Toronto, v.5, n.4, p.791-800. Mar. 1989.
- McLEAN, E. O. Soil pH and lime requirement. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Part. 2. 2. ed. Madison: ASA, 1982. p. 199-223.
- McGONIGLE, T. P.; FITTER, A. H. Ecological specificity of vesicular arbuscular mycorrhizal associations. **Mycological Research**. v.94, n.3, p.120-122. Aug. 1990.
- MILLER, R. M. Some occurrences of vesicular-arbuscular mycorrhizae in natural and disturbed ecosystems of the red desert. **Canadian Journal Botanic**. Quebec. v.57, n.6, p.619-623. Apr. 1979.
- MILLER, R. M. Mycorrhizae and succession. In: Jordan III W. R.; GILPIN, M. E.; ABER, J. D. (eds) **Restoration ecology**. A Synthetic approach to ecological research. Cambridge: Cambridge University Press. 1987. p.205-220.
- MIRANDA, R. U. **Vegetação e banco de sementes em dunas de rejeito de mineração de ilmenita, no Litoral Norte do Estado da Paraíba**. Lavras - UFLA. 1994. 71 p. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).
- MONTAGNI, F.; SANCHO, F. Impacts of native trees on tropical soils: a study in the atlantic lowlands of Costa Rica, Central América. **Ambio**. The Hague, v.19, n.8, p.386-390. Ouct. 1990.
- MORAWETZ, W. Dispersal and succession in an extreme Tropical habitat: coastal sand and xeric woodland in Bahia (Brazil). Sonderbok. **Naturwisschen Verfung Hamburg**, Berlin, v.7, n.4, p.359-380. Marc.1983.
- MORENO-CASASOLA, P. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the gulf of México, **Journal Biogeografic**. Palo Alto, v.15, n.1, p.787-806. Jan. 1988.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular micorrhiza. **Annual Review Phytopathology**. Madison, v.11, n.4, p.171-96, 1981.
- NAHAS, E. **Controle da produção e excreção das fosfatases ácida e alcalina, repressíveis de *Neurospora crassa*: efeito da fonte de carbono e do pH do meio de cultura**. Ribeirão Preto: Faculdade de Medicina, 1981. 114 p. (Tese de Doutorado em Microbiologia).
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sob os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.18, n.1, p. 43-48, 1994.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1986. 434 p.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434 p.



- OLIVEIRA-FILHO, A. T. Gradient analysis of an area of coastal vegetation in the state of Paraíba, Northeastern Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**. v.50, n.2, p.217-236. 1993.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP. 1992. 201p.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; CARVALHO, D. A. Florística e fisionomia da vegetação do extremo norte do litoral da Paraíba. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo. v.16, n.1, p.115-130. 1993a.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; CARVALHO, D. A. Descrição e classificação dos tipos de vegetação do extremo norte do litoral da Paraíba. **Revista Brasileira de Botânica**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 115-130, 1993b.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; SHEPHERD, G. J.; MARTINS, F. R. & STUBBLEBINE, W. H. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Aberdeen, v.5, v.8, p.413-431. Ouct. 1986.
- PARROTTA, J. A. Secondary forest regeneration on degraded tropical lands. In: LIETH, H. & LOHMANN, M. (eds). **Restoration of tropical forest ecosystems**. Netherlands: Kluwer Academic. 1993. p. 63-73.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil biology Biochemistry**. Oxford. v.10, n.2, p.159-164. Apr. 1987.
- PUPPI, G.; REISS, S. Role and ecology of VA mycorrhizae in sand dunes. **Angew botanik**. v.61, n.3, p.115-126. Marc. 1987.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B.VAN; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP. Buffer solution to determine lime requirement of soil. **Communications Soil Science Plant Analysis**. New York, v.16, n.2, p.245-260, Jan.1985.
- RAIJ, B.VAN; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343 p.
- RAMOS, A. E.; OLIVEIRA, P. E. A. M.; MAURY, C. M. R.; RIBEIRO, J. F. Variações fitossociológicas e químicas do solo em uma transecção cerrado-mata-cerrado na reserva biológica de águas emendadas, Brasília, DF. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 37, Ouro Preto, 1986. **Resumos...** Ouro Preto: SBB. 1986. p.117.
- READ, D.J. Mycorrhizas and nutrient cycling in sand dune ecosystems. **Proceeding of Royal Society of Edinburgh**. Edinburgh, v.96B, n.1, p.89-100. Mar. 1989.
- REISENAUER, H. M.; WALSH, L. M.; HOEFT, R.G. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L. M.; BEATON, J.D. (ed.) **Soil Testing and Plant Analyses**. Madison: SSSA, 1973. p. 173-200.



- RICHARDSON, B. Z. Rehabilitation research and its application on a surface mined area of eastern Montana. In: **Fort Union Coal Field Symposium**, New York, p.247-265. 1988.
- ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; ZANZINI, A. C. S. & ORLANDINI, L. **Relatório das atividades de pesquisa ambiental desenvolvidas pela Rutilo & Ilmenita do Brasil - RIB S. A. entre maio e outubro de 1994. (Relatório Técnico)**. 33 p. 1994.
- SAS Institute. **JMP**. Cary: New York, N. C. U.S.A. 1991. 285p.
- SAWADA, Y. **Índices bioquímicos para reabilitação de áreas degradadas**. Austrália. ALCOA.1994. 9p. (Boletim Técnico, n.3).
- SAWADA, Y. **Índices Bioquímicos para Verificar os Impactos de Distúrbios e Resíduos Sobre Processos do Solo**. Austrália. ALCOA.1995. 15p. (Boletim Técnico, n.4).
- SCANLON, T. J.; MARTINICK, W.G. Environmental planning for mining of cables sands mininup deposit, western Australia. In: **the ausimm peth branch, Australia: a world source of Ilmenite, Rutile, Monazite and Zircon. Conference ... Australia**, p.211-213. 1986.
- SCHMIDT, S. K.; SCOW, K. M. Mycorrhizal fungi on the Galapagos Islands. **Biotropica**. St. Louis, v.18, n.3, p.236-240. June, 1986.
- SCHULTZ, A. R. H. **Introdução à botânica sistemática**. 5. ed. Rev. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS, 414 p. 1985.
- SHEIRAN, S. G.; DOHRENWED, R.; BARTELLI, L. **Developed michigan departament of natural resources**. Michigan: Geology Division. 1976. 100p.
- SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C.; DAVIDE, A. C.; CURI, N.; VALE, F. R. Resposta a fósforo e fungos micorrízicos arbusculares (fMAs) por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais. In: **REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRÍZAS, Anais...** Florianópolis: UFSC, 1994. 53p.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236 p.
- SMITH, R. L. Concept of the ecosystem. In: Sheiran, S. G. **Ecology of man**, 2.ed. New York: harper & Row, 1976. p. 4-23.
- SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. **Soil Biochemistry**, Oxford, v.6, n.3, p.357-396, Aug. 1990.
- STEVENSON, F. J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrinuents**. New York: J. Willey, 1985. 379 p.
- SZEGI, J. Recultivation of the spoil banks created by open cut mining activies in Hungary. **Ambio**. Madison. v.17, n.2, p.137-143, June, 1988.

- TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenylphosphatase for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v. 1, n.3, p. 301-307, Mar. 1969.
- TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. S. (eds). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2ed. Madison, 1982. p.903-948.
- TAVARES, S. Estudos geobotânicos no Rio Grande do Norte. *Arquivo e Instituto de Pesquisas Agronômicas*. Ceará, v.5, n.4, p.39-51, 1986.
- TAVARES, S. Contribuição para o estudo da cobertura vegetal dos tabuleiros do Nordeste. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. SUDENE. *Tabuleiros*. 1988. p.12-25. (Coleção Mossoroense, Série B, 494).
- Ter BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, Durham, v.67, p.1167-1179, 1986.
- Ter BRAAK, C.J.F. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, The Hague, v.69, p.69-77, 1987.
- Ter BRAAK, C. J. F. CANOCO - a Fortran program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (canonical) correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis version 2. 1. Wageningen: Institute of Applied Computer Science, 1988. 389p. (Technical Report Lwa - 88 - 02, TNO).
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. *Soil fertility and fertilizers*. 4.ed. New York: Macmillan Publishing. 1985. 754 p.
- TRAPPE, J. M. Mycorrhizal and productivity of arid and semiarid rangelands. In: *Advances in Food producing systems for arid e semiarid lands*. New York: Acad. press. v.13, n.3, p.581-589, 1981.
- TRUFEM, S. F. B.; MALATINSZKY, S. M. M.; OTOMO, H. S. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de plantas do litoral arenoso do Parque estadual da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. 2. *Acta Botanica brasileira*. São Paulo. v.8, n.2, p.219-229, Out, 1994.
- UHL, C. Recovery following disturbances of different intensities in the Amazon Rain Forest of Venezuela. *Interciencia*, London. v.7, n.5, p.19-24. June, 1982.
- UNWIN, G. L.; COOK, J. B. Rehabilitation and environmental matters affecting mineral sands mining in new south wales, Australia. In: COOK, J. B. *The ausimm perth branch, Australia: a world source of Ilmenite, Rutile, Monazite and Zircon*. Conference... Austrália, p.179-190, 1986.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v.19, n.6, p.703-707, june 1987.

- VAUGHAN, P. J. Soil survey manual. In: UNWIN, G. L. **Examination and description of soils.** Oxford, United States Department of Agriculture, October. 1993. Cap.3. 57p. (Handbook n.18).
- VELOSO, H. P. As regiões fitoecológicas sua natureza e seus recursos econômicos. Rio de Janeiro: DNPM. Projeto RADAMBRASIL, 1975. 428p. (Levantamentos de Recursos Naturais, 8).
- VELOSO, H. P. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: Guanabara. 1992. 92p. (Séries Manuais Técnicas em Geociências, 1).
- VILELA, E. A.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; GAVILANES, M. L.; CARVALHO, D. A. Espécies de mata ciliares com potencial para estudos de revegetação no Alto Rio Grande em Itutinga, Sul de Minas. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 17, n.2, p.117-128, Outubro, 1993.
- WHITMORE, T. C. On patterns and process in Forest. In: NEWMAN, E. I. (ed) **The plant community as a working mechanism.** Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1982. p.45-59. (British Ecological Society. Special Publications, 1).