

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGE

**ADOÇÃO DE UMA NOVA ABORDAGEM PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO**

JUARÊS JOSÉ AUMOND

Florianópolis, setembro de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC

**ADOÇÃO DE UMA NOVA ABORDAGEM PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil.

JUARÊS JOSÉ AUMOND

Florianópolis, setembro de 2007

**“ADOÇÃO DE UMA NOVA ABORDAGEM PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO”**

JUARÊS JOSÉ AUMOND

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 30 de outubro de 2007.

Prof. Dr. Clécio Trichês
Coordenador do PPGEC

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Loch
Orientador/Moderador

Prof. Dr. Jucinei José Comin
Co-orientador

Prof. Ph.D. James Jackson Griffith
Examinador – UFV

Prof. Dr.-Ing Jürgen Wilhelm Philips
Examinador – UFSC

Profa. Dra. Lucia Sevegnani
Examinadora – FURB

Prof. Ph.D. Roberto de Oliveira
Examinador – UFSC

AGRADECIMENTOS

Nos últimos anos foram muitos os colaboradores, auxiliares e companheiros de jornada que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Carlos Loch pela orientação, incentivo e amizade incondicional, sem o que dificilmente teria concluído esse trabalho.

Um agradecimento de maneira muito especial ao Prof. Dr. Jucinei José Comin pela cooperação e orientação, tanto no escritório como também no campo, durante toda a realização da pesquisa.

Aos Professores Dr. James J. Griffith e Dr. Sandro Luis Schlindwein, membros da Banca de Qualificação, pela contribuição na melhor compreensão dos conceitos de sistemas e ao Professor Roberto de Oliveira, também componente da banca pelas recomendações metodológicas, o meu sincero reconhecimento.

Aos Professores Dr. Saulo Güths e Alexandre Dutra Alves do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC pela cooperação na adaptação do programa do *software* utilizado na aquisição de dados microclimáticos dessa pesquisa.

Ao amigo Almir Figueredo, companheiro permanente desde a implantação do experimento até a configuração final da tese, os meus sinceros agradecimentos. Meu reconhecimento ao Pedro Morais pelo apoio na implantação do experimento de campo e a minha irmã Cleufe T. Aumond Miranda pelas sugestões e correções do texto.

Aos Professores da FURB, Dra. Lúcia Sevegnani, Dr. Adilson Pinheiro, Dr. Alexandre Huhmann e Dra. Beate Frank pelas sugestões e críticas estimuladoras para a realização dessa tese.

Aos meus alunos, especialmente a Moramai Leandro e ao Adriano Steinemann Santiago que apostaram desde o início nesta nova abordagem de recuperação ambiental.

Aos Diretores da Mineração Portobello Ltda., pela disponibilização da área para a implantação do experimento.

O meu reconhecimento todo especial e afetuoso à minha esposa Teresinha e aos meus filhos Andrea e João, pelo apoio durante a pesquisa e compreensão pela minha ausência nesses anos de sua realização.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	x
LISTA DE GRÁFICOS	xiii
LISTA DE QUADROS	xvi
LISTA DE TABELAS	xvii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1 INTRODUÇÃO	22
2 JUSTIFICATIVA	24
3 A EVOLUÇÃO DE UMA PROPOSTA	27
4 HIPÓTESE E OBJETIVOS DA PESQUISA	34
4.1 HIPÓTESE DA PESQUISA	34
4.2 OBJETIVO GERAL.....	34
4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
5 REVISÃO DA LITERATURA	35
5.1 RECUPERAÇÃO DE SUPERFÍCIES MINERADAS DE ARGILAS NO PLANALTO CATARINENSE	35
5.2 CONCEITUAÇÕES.....	36
5.3 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE.....	38
5.4 ABORDAGENS SISTÊMICAS EM RECUPERAÇÃO AMBIENTAL.....	40
5.4.1 Sistemas: conceitos, componentes, hierarquia e abordagem sistêmica	40
5.4.2 Sistemas dinâmicos complexos e o caos	44
5.4.3 Ecossistemas e a homeostasia	47
5.4.4 Ecossistemas naturais e antrópicos	48
5.4.5 Abordagem sistêmica e a validação da modelagem em recuperação ambiental	52
5.4.6 Princípios da termodinâmica e a entropia	59
5.5 ECOSSISTEMAS: COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS, FATORES E FENÔMENOS ASSOCIADOS.....	62
5.5.1 Principais componentes de um ecossistema para recuperação de área degradada	62
.....	62
5.5.2 Fatores determinantes na formação dos solos e dos ecossistemas	63
5.5.3 Ar, umidade e temperatura do solo e seu efeito no crescimento vegetal	65

5.5.4 A fotossíntese e os três parâmetros ecológicos: radiação-água-nutrientes	67
5.5.5 Água e vegetação	68
5.5.6 Infiltração, encrostamento e erosão	70
5.5.7 Ciclagem biogeoquímica nos ecossistemas	73
5.6 ESTRATÉGIAS, TÉCNICAS E INDICADORES DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	75
5.6.1 Sucessão: consórcio e auto-sustentabilidade	77
5.6.2 Nichos, ilhas de vegetação, nucleação e postos avançados como estratégia de recuperação	80
5.6.3 O uso de serapilheira, bracatinga e outras técnicas em recuperação de áreas degradadas	82
6 MATERIAIS E MÉTODOS	86
6.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO.....	86
6.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	87
6.3 SOLOS.....	88
6.4 HIDROGRAFIA.....	90
6.5 CLIMA.....	90
6.6 VEGETAÇÃO.....	90
6.7 PREPARO DO TERRENO.....	91
6.8 PREPARAÇÃO DAS COVAS E ADUBAÇÃO.....	98
6.9 TRANSLOCAÇÃO DE SERAPILHEIRA E PLANTIO DE ARBÓREAS.....	99
6.10 ÁREA DA PESQUISA, COMPONENTES, DESCRIÇÃO DO MODELO DE SISTEMA ECOLÓGICO E SUBSISTEMAS PARA RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA.....	100
6.11 EQUIPAMENTOS E MEDIDAS DOS INDICADORES ECOLÓGICOS ABIÓTICOS	114
6.12 EQUIPAMENTOS E MEDIDAS DAS VARIÁVEIS BIÓTICAS.....	122
6.13 METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	125
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	130
7.1 VARIÁVEIS ABIÓTICAS.....	130
7.1.1 Radiação	130
7.1.2 Temperatura do solo	139
7.1.2.1 Verão e inverno de 2004 (01/2004 à 06/2004).....	139
7.1.2.2 Verão de 2005 (02/02/2005 à 18/02/2005).....	140

7.1.2.3 Inverno de 2005 (de 14 a 20/07/2005).....	146
7.1.2.4 Primavera de 2005 (de 02 a 08/11/2005)	148
7.1.2.5 Verão de 2006 (de 22 a 26/02/2006)	149
7.1.2.6 Síntese do comportamento da temperatura do solo	152
7.1.3 Temperatura ambiente	155
7.1.4 Umidade relativa do ar	159
7.1.5 Umidade do solo em amostra indeformada.....	163
7.1.6 Umidade natural (gravimétrica)	164
7.1.7 Densidade aparente	166
7.1.8 Volume total de poros	167
7.1.9 Infiltração de água no solo.....	169
7.1.10 Conservação da água e do solo	171
7.1.11 Coeficiente de escoamento superficial	175
7.1.12 Perda de solo e análise granulométrica dos sedimentos transportados.....	176
7.1.13 Análises químicas.....	178
7.2 VARIÁVEIS BIÓTICAS	180
7.2.1 Taxa de mortalidade.....	180
7.2.2 Diâmetro do caule a 5 cm do solo	182
7.2.3 Diâmetro do caule a altura do peito.....	184
7.2.4 Altura média dos indivíduos.....	184
7.2.5 Área da copa	190
7.2.6 Índice médio de cobertura vegetal e altura da cobertura do solo	191
7.2.7 Caracterização da composição florística	195
7.2.8 Fauna	205
7.3 VALIDAÇÃO DO MODELO ECOLÓGICO	214
8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	226
REFERÊNCIAS	230
APÊNDICES	248

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro dos níveis de organização de um ecossistema.....	42
Figura 2 – Representação esquemática de um sistema dinâmico complexo, evidenciando as interações entre os elementos e o todo integrado dinamicamente.....	46
Figura 3 – A floresta como um supersistema dissipativo, estruturalmente aberto ao fluxo de matéria e energia, porém fechado organizacionalmente	50
Figura 4 – Representação esquemática de um sistema plantador e criador.....	51
Figura 5 – Modelo simplificado com entradas, Z e saídas, Y e circuito de interno de retroalimentação ZX/YX.	54
Figura 6 – Modelo de ecossistema que enfatiza o ambiente externo, o qual deve ser considerado como uma parte integrante do ecossistema	55
Figura 7 – Diagrama esquemático do sistema representando a área degradada e o ambiente do entorno, a vizinhança.....	56
Figura 8 – Exemplo de hierarquia da natureza. Os nodos da rede de um nível expressam redes menores. Os sistemas estão aninhados dentro de sistemas maiores constituindo um sistema hierárquico	57
Figura 9 – Diagrama de círculo de reforço e de equilíbrio, também denominado de balanceamento ou homeostase, em que as letras representam as variáveis (ações, fatores, elementos ou subsistemas).....	58
Figura 10 – Diagrama de influência simplificado identificando os principais componentes (elementos) de um ecossistema para recuperação de áreas degradadas. As linhas representam as interações entre os componentes e as setas indicam o sentido das interações entre as variáveis	63
Figura 11 – Fatores determinantes na recuperação dos solos e melhorias físicas esperadas na sua recuperação.....	65
Figura 12 – Representação esquemática dos efeitos positivos e negativos sobre a vegetação provocados pelas propriedades do solo segundo Brady (1989).....	67
Figura 13 – Representação esquemática valorizando o relevo como fator determinante de comunidades vegetais específicas (indicadores biológicos).....	68
Figura 14 – Fatores que influenciam na infiltração da água.....	70
Figura 15 – Área regular “a” cuja superfície total é igual ao produto dos lados da poligonal (comprimento (c) x largura (l)) e na área irregularizada “b” a superfície total é maior devido heterogeneidade provocada pelas rugosidades.....	72

Figura 16 – A associação de superfícies côncavas (concentradoras) com superfícies convexas (dissipadoras) resultando na dissipação da energia da água ao depositar os sedimentos nas concavidades	73
Figura 17 – Componentes de um ecossistema, mostrando o ciclo biogeoquímico (círculo sombreado) superposto ao diagrama simplificado de fluxo energético.....	74
Figura 18 – Estado de Santa Catarina e em destaque o município de Doutor Pedrinho, contendo a localização da área de pesquisa em Campo Formoso	87
Figura 19 – Croqui esquemático das quatro parcelas de pesquisa	96
Figura 20 – Levantamento planialtimétrico de detalhe das duas áreas mostrando as rugosidades de uma fração de área em pesquisa	97
Figura 21 – Representação esquemática do sistema degradado (S) enfatizando os fatores do ambiente (A) sobre a área degradada.....	101
Figura 22 – Diagrama simplificado do sistema degradado com os componentes do ambiente (nível A). No nível B estão representados os elementos (subsistemas) da área degradada e no nível C estão representados os componentes do subsistema da fauna	102
Figura 23 – Concepção do modelo de sistema ecológico para recuperação de um ecossistema degradado.....	104
Figura 24 – Representação de cortes topográficos para superfícies regulares (perfil “a”) e com superfícies irregulares (rugosidades – perfil “b”).....	107
Figura 25 – Subsistema radiação composto pelas variáveis temperatura ambiente, temperatura do solo e umidade relativa do ar	109
Figura 26 – Representação gráfica do subsistema vegetação (nível B) com seus subsistemas identificados nos níveis C.....	111
Figura 27 – Representação gráfica do sistema solo com ênfase nos componentes químicos, físicos e bióticos identificadas no nível C	113
Figura 28 – O subsistema água quando analisado no nível C é representado pelos três componentes: água do solo, água do ar e água de escoamento superficial	114
Figura 29 – Desenho esquemático hipotético do fenômeno de reflexão da luz em uma superfície regular (a) e de difusão da luz em uma superfície irregular (b).....	138
Figura 30 – Desenho esquemático do efeito de variação da incidência da radiação solar no decorrer do dia. Na superfície regular (a) a troca de calor se dá durante todo o dia enquanto houver radiação solar. Nas superfícies irregulares (b e c) o tempo de exposição direta à radiação solar, por unidade de área, será menor	139

- Figura 31 – Modelo de superfície convexa mostrando que tanto o fluxo externo de matéria (água e erosão) e energia (radiação térmica: luz e insolação) como também o fluxo interno de matéria e energia levam a perdas (água e lixiviação química) e dissipação de energia 219
- Figura 32 – Modelo de superfície côncava. Observa-se que os vetores ecológicos estão voltados para dentro do sistema. Há uma concentração da matéria e de energia tanto de origem externa como interna. Tem-se a introspecção dos fatores ecológicos 219

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 – Lavra a céu aberto na mina de argila caulino-ilitica em Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho (SC) – 1990.....	27
Foto 2 – Terraceamento com taludes e bermas criando superfícies planas e mais regulares em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995	28
Foto 3 – Drenagem para disciplinar o escoamento das águas das chuvas em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995.....	28
Foto 4 – Lagoas com filtros de brita para decantação dos sedimentos em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995.....	29
Foto 5 – Caminhos preferenciais de escoamento das águas pluviais (flowline) em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995	30
Foto 6 – Lagoas de decantação colmatadas necessitando de manutenção periódica para retirada de sedimentos depositados em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995	31
Foto 7 – Reafeiçoamento topográfico da área de pesquisa executado com trator tipo D-6 – 2003	92
Foto 8 – Coleta do solo orgânico e serapilheira em área vizinha da pesquisa com escavadeira hidráulica – 2003	92
Foto 9 – Aspecto solo orgânico misturado com serapilheira translocado de área vizinha – 2003	93
Foto 10 – Espalhamento do solo e serapilheira com trator tipo D-6 – 2003	93
Foto 11 – Preparação das rugosidades com escavadeira hidráulica – 2003	94
Foto 12 – Seleção de mudas da Mimosa scabrella – 2003	94
Foto 13 – Rugosidades do terreno onde se observam superfícies convexas, propícias a erosão, associadas a superfícies côncavas que formam pequenas bacias de contenção – 2004	98
Foto 14 – Instalação da Central de Aquisição de Dados – 2005	116
Foto 15 – Placas de alumínio para identificação do número do sensor de temperatura e a seta indica a sua posição no solo – 2006	116
Foto 16 – Instalação do sensor de umidade relativa do ar – 2005.....	117
Foto 17 – Sensor de radiação solar – 2005.....	117
Foto 18 – Termômetro de temperatura do meio ambiente – 2005	118

Foto 19 – Canaletas de concreto semi-circulares para avaliação da conservação da água e perdas do solo – 2004	118
Foto 20 – Detalhe dos coletores e dos divisores Geib – 2006.....	121
Foto 21 – Coleta de solo para análise das propriedades físicas – 2005.....	122
Foto 22 – Biometria – coleta das medidas do diâmetro de <i>Mimosa scabrella</i> – 2003	124
Foto 23 – Identificação dos indivíduos de <i>Mimosa scabrella</i> através de plaquetas de alumínio numeradas – 2003	125
Foto 24 – Área regular com herbáceas e arbustivas ainda atapetando o solo devido ao menor desenvolvimento das bracatingas – jan. 2005	147
Foto 25 – Área irregular: parte das herbáceas já havia perecido e a radiação solar ao atravessar o dossel incidia diretamente no solo – jan. 2005.....	147
Foto 26 – Área regular: herbáceas e arbustivas ainda atapetam o solo devido o menor desenvolvimento das bracatingas – fev. 2006	150
Foto 27 – Área irregular: parte das herbáceas e arbustivas já pereceu e a radiação solar ao atravessar o dossel incide diretamente no solo – fev. 2006.....	150
Foto 28 – Corte em solo depositado nas rugosidades mostrando a colmatção com sedimentos contendo resíduos vegetais e umidade	165
Foto 29 – O maior desenvolvimento das bracatingas nas áreas irregulares inibiram o crescimento das herbáceas e juncáceas que haviam se estabelecido nas rugosidades	166
Foto 30 – Situação das arbóreas após um (1) mês do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – fev. 2004	187
Foto 31 – Situação das arbóreas após dois meses e meio (2,5) do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – abr. 2004	187
Foto 32 – Situação das arbóreas após seis (6) meses do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – jul. 2004	188
Foto 33 – Situação das arbóreas após sete (7) meses do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – ago. 2004	188
Foto 34 – Situação das arbóreas após dois (2) anos do plantio. Na direita área regular (820m ²); na esquerda área irregular (820 m ²), em Doutor Pedrinho, SC – jan. 2006	189
Foto 35 – Situação das arbóreas após dois (2) anos do plantio. Em primeiro plano área regular (820m ²); em segundo plano área irregular (820 m ²), em Doutor Pedrinho, SC – jan. 2006	189
Foto 36 – Área irregularizada 1110 m ² , mostrando o enchimento das cavas com águas pluviais	

e seu escoamento superficial, em Doutor Pedrinho, SC – 21 jul. 2004	203
Foto 37 – Área irregularizada 1110 m ² mostrando a colonização das cavas por juncáceas e ciperáceas, em Doutor Pedrinho, SC – 1º jul. 2004	204
Foto 38 – Armadilha visual para coleta de artrópodes na parcela irregular 820 m ² – 2006.....	211
.....	211
Foto 39 – Armadilha visual para coleta de artrópodes na parcela regular 1110 m ² – 2006.....	212
.....	212
Foto 40 – Triagem com microscópio estereoscópico para classificação dos artrópodos – 2006	212
.....	212
Foto 41 – Visualização de girinos nas parcelas com rugosidades – 2004.....	213
Foto 42 – Presença de libélulas (Odonata) na rugosidade da parcela irregular (1110 m ²) – 2004	213
.....	213
Foto 43 – Anfíbio presente na parcela irregular 820 m ² – 2006.....	214

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular $820 m^2$ e irregular $820 m^2$ – 02 a 25 fev. 2005	131
Gráfico 2 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular $820 m^2$ e irregular $820 m^2$ – 02 a 07 fev. 2005	131
Gráfico 3 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular $820 m^2$ e irregular $820 m^2$ – 13 a 18 fev. 2005	132
Gráfico 4 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular $820 m^2$ e irregular $820 m^2$ – 14 a 20 jul. 2005	132
Gráfico 5 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas Regular $820 m^2$ e Irregular $820 m^2$ – 02 a 08 nov. 2005	133
Gráfico 6 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular $820 m^2$ e irregular $820 m^2$ – 14 fev. 2005	134
Gráfico 7 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular $820 m^2$ e irregular $820 m^2$ – 06 nov. 2005	134
Gráfico 8 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular $820 m^2$ e irregular $820 m^2$ – 22 a 26 fev. 2006	135
Gráfico 9 – Comparativo das médias da radiação solar (W/m^2) entre os dois tratamentos do solo nas áreas regular e irregular no decorrer da pesquisa – 2005-2006	137
Gráfico 10 – Temperatura do solo ($^{\circ}C$) nas duas profundidades (2,5 cm e 7,5 cm) nas áreas regular $820 m^2$ (T_1 a T_4) e irregular $820 m^2$ (T_5 a T_8) – 02 a 06 fev. 2005	141
Gráfico 11 – Temperatura do solo ($^{\circ}C$) nas duas profundidades (2,5 e 7,5 cm) nas áreas regular $1110 m^2$ (T_9 a T_12) e irregular $1110 m^2$ (T_13 a T_16) – 02 a 06 fev. 2005	141
Gráfico 12 – Temperatura do solo ($^{\circ}C$) nas áreas regular $820 m^2$ (T_1 a T_4) e irregular $820 m^2$ (T_5 a T_8) – 13 a 18 fev. 2005	142
Gráfico 13 – Temperatura do solo ($^{\circ}C$) nas áreas regular $1110 m^2$ (T_9 a T_12) e irregular $1110 m^2$ (T_13 a T_16) – 13 a 18 fev. 2005	142
Gráfico 14 – Temperatura do solo ($^{\circ}C$) nas áreas regular $1110 m^2$ (T_9 a T_12) e irregular $1110 m^2$ (T_13 a T_16) – 13 fev. 2005	143
Gráfico 15 – Temperatura do solo ($^{\circ}C$) nas áreas regular $1110 m^2$ (T_9 a T_12) e irregular $1110 m^2$ (T_13 a T_16) – 14 a 16 jul. 2005	146

Gráfico 16 – Temperatura do solo (°C) nas áreas Regular 1110 m ² (T_9 a T_12) e Irregular 1110 m ² (T_13 a T_16) – 02 a 08 nov. 2005.....	148
Gráfico 17 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 820 m ² (T_1 a T_4) e irregular 820m ² (T_5 a T_8) – 22 a 26 fev. 2006.....	151
Gráfico 18 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 1110 m ² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m ² (T_13 a T_16) – 22 a 26 fev. 2006.....	151
Gráfico 19 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 1110 m ² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m ² (T_13 a T_16) – 23 fev. 2006.....	152
Gráfico 20 – Comparativos das médias da temperatura do solo (°C) entre os tratamentos do solo nas áreas irregular e regular nas profundidades de 2,5 e 7,5 cm – fev. 2005 e fev. 2006.....	153
Gráfico 21 – Temperaturas do ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 820m ² e irregular 820 m ² – 19 a 29 nov. 2005	156
Gráfico 22 – Temperaturas do ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 1110m ² e irregular 1110 m ² – 19 a 29 nov. 2005	156
Gráfico 23 – Temperatura ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 820 m ² e irregular 820 m ² – 04 a 18 fev. 2006	158
Gráfico 24 – Temperatura ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 1110 m ² e irregular 1110 m ² – 04 a 18 fev. 2006	158
Gráfico 25 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m ² e irregular 820 m ² – 14 a 20 jul. 2005	160
Gráfico 26 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m ² e irregular 820 m ² – 02 a 08 nov. 2005	160
Gráfico 27 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m ² e irregular 820 m ² – 02 nov. 2005	161
Gráfico 28 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m ² e irregular 820 m ² – 22 a 26 fev. 2006	162
Gráfico 29 – Infiltração de água no solo nas áreas de tratamento irregular e regular.....	171
Gráfico 30 – Distribuição das precipitações medidas por evento pluvioso no período de coleta – jul. 2004 a jan. 2005.....	172
Gráfico 31 – Volumes de água da chuva escoados nas áreas regular e irregular no período de coleta.....	173
Gráfico 32 – Precipitação e volume de água da chuva escoado na área irregular.....	174
Gráfico 33 – Precipitação e volume de água da chuva escoado na área regular.....	174

Gráfico 34 – Coeficiente de escoamento das áreas regular e irregular	176
Gráfico 35 – Perda de solo nas áreas regular e irregular em tonelada.....	177
Gráfico 36 – Granulometria dos sedimentos transportados pelo escoamento (%).....	178
Gráfico 37 – Mortalidade de <i>Mimosa scabrella</i> – no período da pesquisa até fevereiro de 2006	181
Gráfico 38 – Diâmetro basal (mm) de <i>Mimosa scabrella</i> a 5 cm do solo – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006	183
Gráfico 39 – Altura média total (cm) dos indivíduos de <i>Mimosa scabrella</i> – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006	185
Gráfico 40 – Área média da copa (m ²) dos indivíduos de <i>Mimosa scabrella</i> – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006	190
Gráfico 41 – Índice médio de cobertura do solo (%) das parcelas regulares e irregulares – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006.....	192
Gráfico 42 – Altura média da vegetação espontânea (mm) das áreas regulares e irregulares – maio 2004/dez. a 2004/fev. 2006.....	194
Gráfico 43 – Rarefação entre as áreas de 820 m ² regular e irregular	207
Gráfico 44 – Rarefação entre as parcelas regular 1110 m ² e irregular 1110 m ²	208
Gráfico 45 – Gráfico de rarefação entre as áreas regulares e irregulares	209

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais diferenças entre um ecossistema natural e um ecossistema agro-florestal antrópico	52
Quadro 2 – Síntese das principais técnicas recomendadas para recuperação de áreas degradadas	85
Quadro 3 – Representação do grau de intensidade das relações entre os componentes do sistema (S), representados em forma de matriz	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média da radiação solar (W/m^2) – fev. 2005 a fev. 2006.....	130
Tabela 2 – Médias mensais de temperatura do solo ($^{\circ}C$) nas duas profundidades (2,5 cm e 7,5 cm) nas áreas regulares e irregulares – jan.-jun. 2004.....	140
Tabela 3 – Médias comparativas da temperatura do solo ($^{\circ}C$) na profundidade de 2,5 cm, entre as áreas regulares (termômetros T_1, T_3, T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_5, T_7, T_13, T_15) – 02 a 07 fev. 2005 e 13 a 18 fev. 2005...	144
Tabela 4 – Médias comparativas da temperatura do solo ($^{\circ}C$) na profundidade de 7,5 cm, entre as áreas regulares (termômetros T_2, T_4, T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_6, T_8, T_14, T_16) – 02 a 07 fev. 2005 e 13 a 18 fev. 2005...	145
Tabela 5 – Médias comparativas de temperatura do solo de todos os termômetros entre os dois tratamentos (áreas regulares e irregulares), nas profundidades de 2,5 cm e 7,5 cm – 02 a 07 fev. 2005 e 13 a 18 fev. 2005.....	145
Tabela 6 – Comparativos das médias da temperatura do solo entre os tratamentos regular e irregular a 2,5 e a 7,5 cm de profundidade	153
Tabela 7 – Comparativos das médias da temperatura ambiente máximas e mínimas entre os tratamentos irregular e regular – 19 a 29 nov. 2005 e 04 a 18 fev. 2006	159
Tabela 8 – Médias da umidade relativa do ar (%) nos períodos de coletas de dados nas áreas regular $820\ m^2$ e irregular $820\ m^2$	163
Tabela 9 – Umidade do solo em amostras indeformadas (%) nos tratamentos irregular e regular, a 0-5 e 15-20 cm de profundidade – 13 jan. 2005.....	164
Tabela 10 – Médias da umidade do solo em amostras indeformadas (%) entre os tratamentos irregular e regular, a 0-5 e 15-20 cm de profundidade – 28 fev. 2006	164
Tabela 11 – Médias da umidade natural em amostras compostas (30 cm) nas áreas com tratamentos irregular e regular (%) – dez. 2006	164
Tabela 12 – Médias da densidade aparente ($DA - g/cm^3$) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 13 jan. 2005	167
Tabela 13 – Médias da densidade aparente ($DA - g/cm^3$) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 28 fev. 2006	167
Tabela 14 – Volume total de poros médio (VTP – %) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 13 jan. 2005	168
Tabela 15 – Volume total de poros médio (VTP – %) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 28 fev. 2006.....	168

Tabela 16 – Análises granulométricas dos 30 cm superficiais dos solos (%).....	171
Tabela 17 – Análise química do solo no tratamento regular e no tratamento irregular, obtida através de amostra indeformada – 2004 e 2006.....	179
Tabela 18 – Análise química comparativa de algumas características químicas do solo entre o tratamento regular e o tratamento irregular, obtida através de amostra indeformada – 2004 e 2006	180
Tabela 19 – Taxa de sobrevivências de <i>Mimosa scabrella</i> após dois anos, referente aos tratamentos na recuperação de área degradada, realizada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – no período da pesquisa até fevereiro de 2006	181
Tabela 20 – Variações no diâmetro basal médio (mm) do caule de <i>Mimosa scabrella</i> , referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. a 2004/fev. 2006	183
Tabela 21 – Diâmetro médio (mm) na altura do peito do caule de <i>Mimosa scabrella</i> referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – fev. 2006.....	184
Tabela 22 – Variações na altura média (mm) total de <i>Mimosa scabrella</i> , referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006.....	184
Tabela 23 – Médias da área de copa (m ²) de <i>Mimosa scabrella</i> , referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006	190
Tabela 24 – Variações médias do índice de cobertura (%) do solo das parcelas regulares e irregulares, referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006	192
Tabela 25 – Variações médias da altura (mm) da vegetação espontânea nas áreas regulares e irregulares, referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006	194
Tabela 26 – Espécies vegetais amostradas na área de recuperação em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC.....	196
Tabela 27 – Número de indivíduos por ordem coletadas em cada parcela	206
Tabela 28 – Índices relativo à fauna de invertebrados nas áreas regulares e irregulares de	

820m ² – jul. 2005 a jun. 2006	206
Tabela 29 – Índices relativos à fauna de invertebrados nas áreas regulares e irregulares de 1110 m ² – jul. 2005 a jun. 2006.....	207
Tabela 30 – Índices relativos à total da fauna de invertebrados nas áreas regulares e irregulares – jul. 2005 a jun. 2006	208
Tabela 31 – Síntese das variáveis bióticas e abióticas nos dois tratamentos de solo	215

RESUMO

Este estudo apresenta um modelo ecológico integrador para recuperação de área degradada pela mineração, baseado na inter-relação e interdependência, essenciais entre os fenômenos e componentes físicos, químicos e biológicos. Baseado na Teoria Geral dos Sistemas, na “Ótica da Teoria do Caos” e auxiliado pela “Engenharia de Sistemas” se desenvolveu um modelo ecológico de sistema para a recuperação ambiental tratando a área como um sistema dinâmico complexo, hiper-sensível às condições iniciais de preparação do terreno. Partindo da hipótese de que as áreas degradadas são sensíveis às condições iniciais de preparação do terreno, aplicou-se a técnica das rugosidades para desencadear ao longo do tempo propriedades emergentes que aceleram o processo de recuperação ambiental. Avaliou-se, no processo de recuperação ambiental, durante 26 meses, a evolução dos componentes solo, vegetação, fauna, água e microclima e, também o efeito das superfícies côncavas e convexas associadas (rugosidades), como componentes auxiliares na internalização da matéria e energia em área degradada. Comparou-se a evolução das variáveis ambientais bióticas e abióticas no modelo de preparação do terreno proposto com o modelo convencional, formado por superfícies planas e mais regulares. As rugosidades do terreno, além de amenizarem as condições microclimáticas, auxiliaram na retenção da água e minimizaram significativamente o volume e o coeficiente de escoamento da água com diminuição expressiva dos processos erosivos. Confirmou-se que as rugosidades se comportam como atratores gravitacionais que geram ilhas de diversidade, incorporando ao sistema uma dinâmica hipersensível a essas condições iniciais e funcionam como nucleadoras que desencadeiam efeitos amplificados pela retroalimentação, que potencializam e aceleram a recuperação ambiental. Todas as variáveis biométricas das arbóreas da espécie *Mimosa scabrella* (altura, diâmetro do colo, diâmetro à altura do peito e área da copa) e altura da vegetação espontânea apresentaram crescimento mais acelerado nas áreas irregulares, resultando em mudanças ambientais dos fatores abióticos. O desenvolvimento mais acelerado das arbóreas se refletiu nas mudanças da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar que resultou no perecimento das herbáceas e arbustivas, confirmando o estágio mais avançado do processo sucessional da vegetação nas áreas irregulares. Concluiu-se que o modelo ecológico proposto e os resultados práticos obtidos validam o diagrama de influência como ferramenta importante para entender as relações de causalidade e retroalimentação das variáveis e sua evolução temporal no processo de recuperação ambiental. Com os expressivos ganhos econômicos obtidos e a redução de custos na recuperação de áreas degradadas pela mineração, sugere-se que o modelo ecológico e a técnica inovadora de preparação do terreno possam ser testados em recuperação de áreas degradadas por outras atividades econômicas.

Palavras-chave: Recuperação Ambiental na Mineração; Teoria Geral dos Sistemas; Modelo Ecológico.

ABSTRACT

This study aims to show an integrated ecological model for recovering a mining degraded area. This model is based on two characteristics: relationship and interdependence, both essential components of physical, chemical and biological phenomena. Based on General Theory of Systems, in the Chaos Theory, and supported by Systems of Engineering, an ecological system model was developed in order to provide environmental restoration. It was admitted that the area is a representation of a dynamic complex system, hyper sensitive to initial conditions provided by initial arrangements of the area. Admitting that these areas are sensitive to the initial conditions provided by the preparation of the terrain, the study applied the rugosity technique. This technique gives way to the arising of emergent properties which are responsible for the acceleration of environmental restoration process. It was evaluated along the three years restoration process the evolution of soil, vegetation, fauna, water and microclimate components, as well as the effect of concaves and convex surfaces (rugosities) which has been interpreted as an auxiliary component in the internalization of organic matter and energy in degraded area. The evolution of biotic and abiotic environmental variables was observed and the data of the proposed model of terrain preparation and of the conventional model (which are formed by plains and regular surfaces) were compared. The terrain rugosities, besides reducing the microclimate variations, provide better conditions to retain water and significantly minimize the soil eroded volume and the flowing off coefficient, resulting in a very expressive diminishing of erosive process. It was confirmed that rugosities acts as a gravitational attractors that generate diversity islands which, in its turn, makes the system hyper sensible to those initial conditions. It also acts as nucleating points which leads to amplification of effects by means of a positive feedback leading to increment and acceleration of the restoration process of the area. All the biometric variables of the arboreal species *Mimosa scabrella* (height, basal diameter, diameter at breast height and crown diameter) and the height of spontaneous vegetation have showed a faster increment in the irregular areas (rugous areas), resulting in changes of environmental abiotic factors. The faster development of trees reflected in the changes of sun irradiation, temperature, and air relative humidity which results in the perishment of the grasses and shrublies, confirming the more advanced sucesional stage founded in irregular areas. We concluded that ecological model proposed and the practical results validate the influence diagram as an important tool in order to understand the relationships between causality and feedback of variables and its temporal evolution in the environmental restoration practices. As can be deduced by the expressive economics gains as well as by the reduction of costs in the recovering of mining degraded areas, we suggest that the ecological model and the innovative technique of terrain preparation can be tested in the restoration of areas degraded by others economic activities.

Key-words: Environmental Restoration in Mining Activities; General Theory of Systems; Ecological Model.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, o aumento na expectativa de vida e a tendência à padronização do consumo têm aumentado indiscriminadamente a utilização dos recursos naturais, comprometendo a qualidade de vida e a sobrevivência das futuras gerações.

Entre os vetores que têm gerado significativa degradação ambiental, a nível mundial, estão a mineração, a agricultura, a urbanização e a pecuária. A agricultura, devido à crescente política de expansão de suas fronteiras e adoção de técnicas agrícolas inadequadas, tem sido a principal responsável pela degradação ambiental e tem deixado para trás rastros de destruição restringindo cada vez mais a reutilização dessas áreas (KOBAYAMA; MINELA; FABRIS, 2001; BALENSIEFER, 1997).

A utilização de bens minerais pelo homem é tão antiga quanto sua história e a extração mineral se caracterizam como uma atividade modificadora do meio ambiente, podendo provocar uma série de impactos ambientais (TANNO; SINTONI, 2003).

As empresas de mineradoras, por sua vez, têm apresentado iniciativas tímidas para minimizar os problemas ambientais oriundos da mineração (BORTOT; LOCH, 2004). A revegetação é parte essencial no processo de recuperação de áreas degradadas pela mineração. No entanto, no afã de atender a legislação e de se obter respostas rápidas nos processos de recuperação e restauração de áreas degradadas, simplesmente transferiu-se para a mineração, técnicas e procedimentos utilizados na agricultura e nos reflorestamentos homogêneos. Os manuais e propostas de projetos para recuperação e restauração ambiental de áreas degradadas pela mineração dessa fase carecem de uma concepção metodológica integradora e detêm uma abordagem simplista.

Concentram-se mais esforços na redução do impacto visual, com a regularização topográfica e paisagística, através da revegetação homogênea, conhecida como técnica do tapete verde. De acordo com Aumond (2003) uma superfície rugosa, irregular, preparada adequadamente, tem efeito benéfico no processo de recuperação ambiental de área degradada pela mineração. A regularização topográfica de áreas mineradas e a revegetação homogênea disfarçam o problema e não garantem a sustentabilidade da recuperação. O fracasso e a frustração desses projetos de recuperação estão relacionados a uma visão antropocêntrica e utilitarista especialmente no caso do reflorestamento homogêneo, que remonta à primeira fase de manejo para a produção de florestas econômicas (AUMOND, 2003).

Depreende-se dessas constatações que a recuperação e a restauração necessitam de

uma abordagem multidisciplinar¹ e interdisciplinar², auxiliada por um modelo ecológico teórico que envolva o máximo dos componentes do sistema degradado, incluindo o solo, a morfologia do terreno (rugosidades), vegetação, fauna (invertebrados), água, microclima, o homem e o ambiente. Devido a inúmeros fenômenos biológicos e físico-químicos envolvidos, a recuperação de áreas degradadas é complexa, envolvendo profissionais das áreas da Agronomia, Engenharia, Hidrologia, Geografia, Biologia e Ciências Humanas.

Os avanços, conseguidos isoladamente, ainda carecem de um modelo ecológico integrador, e para que esses avanços ainda circunscritos às várias áreas do conhecimento possam somar esforços, é necessária uma abordagem sistêmica. Assim o modelo, aqui proposto, baseia-se no estudo da inter-relação e interdependência essencial de todos os fenômenos e componentes físicos, biológicos e químicos. Esta nova concepção transcende as fronteiras conceituais cartesianas e disciplinares, concentradas excessivamente nas propriedades mecânicas dos organismos e do meio abiótico.

Considerando-se os princípios básicos da Ecologia, almeja-se aplicar técnicas e integrar os conhecimentos das Ciências da Vida e da Terra, dentro da perspectiva da Teoria Geral dos Sistemas de von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1975) e, a partir dela, trabalhar em áreas degradadas na ótica da Teoria do Caos.

Auxiliado pela “Engenharia de Sistemas” de Daenzer e Huber (1992 apud FRANK, 1998) almeja-se desenvolver um modelo de sistema para análise e interpretação do sistema degradado e aplicar no terreno uma técnica de rugosidades (superfícies convexas e côncavas integradas) para recuperar uma área degradada pela mineração de argila.

Fundamentado nas estruturas dissipativas de Prigogine e Stenger (1984), os ecossistemas e os ecossistemas degradados podem ser entendidos como estruturas dissipativas que permanecem afastados do estado de equilíbrio, por se constituírem em sistemas abertos ao fluxo de matéria e energia. Destaca-se o modelo de sistema aberto aplicado aos seres vivos, considerando-se como sistema aberto àquele que troca matéria e energia com o seu entorno, o ambiente.

Com essa pesquisa, pretende-se colaborar no preenchimento de uma lacuna do conhecimento no estado atual da arte da recuperação e restauração ambiental, propondo através de uma abordagem sistêmica um modelo ecológico integrador.

¹ Que envolve muitas disciplinas.

² Comum a vários ramos do conhecimento.

2 JUSTIFICATIVA

As áreas de mineração representam cerca de 1,2% das áreas degradadas no mundo, enquanto as áreas agrícolas, somadas às áreas de pastagens, representam 69%. Estima-se no território brasileiro a ocorrência de mais de 200 milhões de hectares de áreas degradadas (CABRAL *et al.*, 2002). A mineração atinge áreas menores, porém seu impacto transcende a área diretamente impactada.

A mineração não representa grande parcela em extensão, se comparada aos demais agentes degradadores, porque sua ocorrência é pontual. Entretanto, seus efeitos são drásticos no meio ambiente uma vez que a área de influência indiretamente impactada pode ser muito maior que a área de exploração propriamente dita, pois envolve a área da jazida, as áreas do estéril e das bacias de rejeitos, provocando alterações sobre a água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo (DIAS, 1998; KOBAYAMA; MINELA; FABRIS, 2001).

Entre 1986 e 2000, somente na bacia hidrográfica do Itajaí houve uma redução da área cultivada, correspondendo a 26% das terras que eram ocupadas em 1986, o que poderia significar uma regeneração das florestas via sucessão secundária (VIBRANS, 2003). No entanto, em análise por sensoriamento remoto, o autor constatou que apesar da área ocupada pela agricultura estar decrescendo, seja pelo êxodo rural e/ou pela redução da população rural, a pressão sobre os recursos naturais não necessariamente diminuiu neste período, em função do aumento da demanda por recursos naturais. A cobertura florestal natural em 2003, incluindo florestas secundárias e primárias era de aproximadamente 54%, as capoeiras cobriam 12%, capoeirinhas 1% e os reflorestamentos cobriam 2% da superfície total da bacia do Itajaí. O Código Florestal (BRASIL, 1965) em sua versão original de 1965, estimulava explicitamente a conservação de florestas naturais, e foi somente a partir de 1990 que a legislação ambiental restringiu a supressão das florestas naturais. A capacidade de regeneração natural da floresta, constatado pelo autor, através dos processos da sucessão secundária pode representar importante impulso em projetos de recuperação ambiental das florestas degradadas pelas diferentes atividades econômicas, inclusive pela mineração.

Em Santa Catarina, a extração de minerais argilosos, notadamente para produção de cerâmica, está entre as atividades de mineração que mais impacto provoca no ambiente. O estado é o maior produtor latino-americano de revestimentos cerâmicos e é importante produtor de louça de mesa. Estima-se um consumo de matérias-primas minerais da ordem de 12 milhões de toneladas/ano para produção dos vários tipos de cerâmicas, sendo a maior parte

extraída no próprio estado. A extração de um volume tão expressivo provoca grandes impactos ambientais (AUMOND; BALISTIERI, 1997).

As atividades de mineração a céu aberto provocam modificações na paisagem que refletem uma alteração dos processos ambientais (FONSECA, 1989; GRIFFITH, 1992), do substrato (DIAS, 1998; ZIMMERMANN; TREBIEN, 2001) e dos recursos hídricos (DIAS; GRIFFITH, 1998). As principais alterações ambientais, provocadas pela mineração, são a supressão da vegetação, a mudança da superfície topográfica, o impacto visual, a indução de escorregamentos, a destruição da fauna, a aceleração dos processos erosivos, o assoreamento e entulhamento de cursos d'água, e a mudança no nível freático, entre outros (GRIFFITH, 1980; BITAR, 1997; ZIMMERMANN; TREBIEN, 2001).

Nas últimas décadas, em diferentes áreas do conhecimento, se desenvolveram e se implementaram novas técnicas, ações e diferentes estratégias com vistas à recuperação e à restauração ambiental de áreas degradadas pelas atividades de mineração, agropecuária e pelas demais atividades humanas. Engenheiros florestais, agrônomos, geólogos, biólogos, botânicos, e outros se empenharam, nas suas respectivas áreas de conhecimento, em aperfeiçoar as técnicas, selecionando espécies vegetais, otimizando os tratamentos edáficos, aplicando a biotecnologia para o desenvolvimento de espécies mais resistentes e produtivas, consorciando espécies da sucessão ecológica, adicionando nutrientes específicos, entre outros (REICHMANN NETO; SANTOS FILHO, 1982; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985; BARTH, 1989; CARPANEZZI *et al.*, 1990; IBAMA, 1990; CARPANEZZI; CARPANEZZI, 1992; FRANCO; DIAS; FARIA, 1992; GRIFFITH, 1992; KAGEYAMA *et al.*, 1992; GISLER; MERGURO, 1993; DAVIDE, 1994; GRIFFITH; DIAS; JUCKSCH, 1994; KAGEYAMA *et al.*, 1994; SEITZ, 1994; CALLAWAY, 1995; RODRIGUES; GANDOLFI, 1996, 1998; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997; NAU; SEVEGNANI, 1997; CAMPELO, 1998; VIVAN, 1998; REIS; ZAMBONIN; MAKASONO, 1999; GRIFFITH; DIAS; MARCO JÚNIOR, 2000; REGENSBURGER, 2000; AUMOND, 2003; entre muitos outros). Com a tomada de consciência das perdas do patrimônio genético, resultante da substituição de florestas nativas para dar lugar a grandes extensões de monocultura agrícola, pecuária e mineração, iniciou-se um processo de valorização dos fragmentos florestais remanescentes e das espécies nativas. Inúmeros órgãos oficiais, instituições de pesquisa e técnicos nas diferentes áreas do conhecimento se dedicaram a desenvolver técnicas de recuperação e restauração das áreas degradadas pela mineração. O IBAMA (1990) contribuiu com o **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração**, que até hoje ainda é referência básica nas atividades de mineração.

No entanto, apesar dos avanços destas ações e técnicas, grande quantidade de recursos ainda são desperdiçados em projetos de recuperação, cujos resultados ficam aquém do esperado, desanimando os especialistas e frustrando os investidores. Entre as causas do retardamento na prática intensiva da recuperação, está a falta de referências, o purismo científico, a espera das condições ideais e dos resultados da pesquisa. Talvez a mais grave constatação seja a baixa produção em biomassa e o baixo índice de diversidade em projetos cujo objetivo último é restituir a estrutura e a função original dos ecossistemas degradados (JESUS, 1994). Outro aspecto, relevante nesses projetos de recuperação dos ecossistemas, é a demanda de tempo superior ao esperado para atingir um estágio de organização e diversidade aceitável.

Barth (1989), ao analisar projetos de recuperação ambiental em áreas degradadas pela mineração, constatou que em apenas 25% das minas eram desenvolvidas pesquisas de campo, e um dos aspectos relevantes foi a falta do uso de um modelo experimental estatisticamente válido. O autor constatou a necessidade de pesquisas aplicadas em algumas áreas prioritárias para a recuperação: controle de erosão; adequação de espécies; sucessão ecológica; qualidade da água; sistema de desvio de água; ciclagem de nutrientes; introdução microorganismos na recuperação; uso de espécies arbóreas nativas; papel do solo orgânico; nutrição de plantas; propagação vegetativa, entre outras.

De acordo com Balensiefer (1997), no entanto, a atividade de mineração, por força da legislação vigente, além de desenvolver uma cultura própria de recuperação ambiental, tem contribuído com novas tecnologias que foram assimiladas em projetos de recuperação ambiental por outras atividades econômicas.

Pelo exposto esta pesquisa busca apresentar um modelo de sistema para avaliação qualitativa e quantitativa de uma área degradada pela mineração de argila em processo de recuperação ambiental. Para tal, procurar-se-á responder algumas perguntas chave:

- a) Que métodos, critérios, parâmetros e indicadores utilizar para comparar qualitativa e quantitativamente duas áreas como estudos de caso?
- b) Em que momento da recuperação avaliar os resultados?
- c) No processo de avaliação comparativa pode haver uma sobre-valorização de alguma variável ou critério qualitativo ou quantitativo, em detrimento de outro?
- d) As tecnologias para recuperação de áreas degradadas pela mineração podem contribuir para recuperação e restauração de ambientes degradados por outras atividades?

3 A EVOLUÇÃO DE UMA PROPOSTA

Pesquisas de prospecção para argilas, desenvolvidas ao longo dos últimos trinta e cinco anos resultaram na descoberta, na caracterização e, na quantificação de uma das mais expressivas jazidas desta matéria-prima no planalto catarinense e no encaminhamento de um relatório geológico ao Departamento Nacional da Produção Mineral do Ministério das Minas e Energia (AUMOND, 1984). Desde então, são extraídas desta área cerca de 10 mil toneladas por mês de argila caulino-ilítica destinadas ao fabrico de revestimentos cerâmicos. Neste período, foram extraídas mais de 2.500.000 toneladas desta matéria-prima através do método de lavra a céu aberto (Foto 1).



Foto 1 – Lavra a céu aberto na mina de argila caulino-ilítica em Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho (SC) – 1990

Fonte: Aumond (1990).

Na mineração de argila em Campo Formoso, município de Doutor Pedrinho (SC), as medidas e modelos teóricos utilizados até o final da década de 1990 para conter a erosão e recuperar a área, estavam embasados em autores, manuais e normas, tais como: IBAMA (1990), Griffith (1992), Mertem (1994), Griffith, Dias e Jucksch (1994), Queiroz (1994), Ferreira *et al.* (1997), Souza *et al.* (1997), ABNT (1999), entre outros. Os procedimentos adotados para a recuperação paisagística obedeciam a uma rotina convencional que incluía o preenchimento da cava da lavra com o rejeito, regularização das superfícies lavradas, espalhamento do solo estocado anteriormente e, quando o terreno era mais acidentado,

implantavam-se taludes com bermas de superfícies planas (Foto 2), drenagem para disciplinar o escoamento das águas das chuvas (Foto 3), filtros e lagoas de decantação para evitar a contaminação dos mananciais situados à jusante da operação da lavra (Foto 4).



Foto 2 – Terraceamento com taludes e bermas criando superfícies planas e mais regulares em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995

Fonte: Aumond (1995).



Foto 3 – Drenagem para disciplinar o escoamento das águas das chuvas em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995

Fonte: Aumond (1995).



Foto 4 – Lagoas com filtros de brita para decantação dos sedimentos em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995

Fonte: Aumond (1995).

Para a revegetação foram utilizadas espécies exóticas e nativas, tanto herbáceas, como arbóreas, com o objetivo de cobrir rapidamente a paisagem com um tapete verde e conter a erosão.

Apesar dos esforços realizados nessas duas décadas, incluindo o reafeiçoamento topográfico das cavas de mineração com regularização da superfície, drenagens, estruturas lineares do tipo terraços, revegetação com espécies nativas e exóticas arbóreas, pioneiras, secundárias e climáticas, os resultados da recuperação ambiental foram frustrantes, tanto para o ambiente como para quem conduziu os trabalhos. Não se conseguiu estabelecer índices de biodiversidade, de cobertura vegetal, de retenção de água e, conseqüentemente, de erosão aceitáveis. Eles sempre ficaram aquém do projetado. Estabelecia-se rapidamente o processo de escoamento difuso, que Guerra (1999) descreveu como escoamento em lençol (*sheetflow*), resultando em erosão laminar. No estágio seguinte iniciava o escoamento do tipo *flowline* ou fluxo linear, resultando em caminhos preferenciais ou pequenos canais (Foto 5).



Foto 5 – Caminhos preferenciais de escoamento das águas pluviais (*flowline*) em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995

Fonte: Aumond (1995).

No terceiro estágio apareciam microravinas (*micro-rills*) com escoamento de água concentrada em canais bem definidos, aumentando a erosão e degradando ainda mais as características físicas, químicas e biológicas do substrato já empobrecido.

Dessas observações concluiu-se que o fluxo de matéria (nutrientes, matéria orgânica, sementes e microorganismos) para fora da área em recuperação era muito elevado e eram diminuídas as possibilidades de ocorrer interações ambientais da água e nutrientes com a flora e fauna. As lagoas de decantação construídas a jusante das áreas mineradas frequentemente ficavam colmatadas e necessitavam de constante manutenção para retirada dos sedimentos depositados, elevando os custos da recuperação ambiental (Foto 6).



Foto 6 – Lagoas de decantação colmatadas necessitando de manutenção periódica para retirada de sedimentos depositados em área de mineração de Campo Formoso, no município de Doutor Pedrinho, SC – 1995

Fonte: Aumond (1995).

Estes fatos levaram a uma reflexão sobre a distribuição da água nos ecossistemas e sua influência ecológica nas áreas em processo de recuperação. A água provocava erosão, comportando-se como um fator ecológico negativo. A água em trânsito rápido no sistema levava-o a uma degradação ambiental crescente. Assim, a retenção da água no sistema não só seria fator relevante, mas também poderia ser um indicativo do estado de recuperação da área degradada. Idealizou-se fixar temporariamente a água dentro do sistema, de forma que em seu trânsito desencadeasse efeitos positivos. Este novo foco na recuperação permitiu constatar que em pequenas irregularidades da superfície do terreno, onde a água ficava depositada, havia diversidade vegetal com recolonização espontânea de espécies herbáceas. Estes núcleos de vegetação que se estabeleciam espontaneamente pareciam mostrar certas especificidades não esperadas no processo de recuperação. A vegetação era mais freqüente nas superfícies do terreno não regularizadas, caracterizadas por pequenas rugosidades, com dimensões da ordem

de 30 a 50 centímetros de profundidade. O estabelecimento vegetal espontâneo ocorria especialmente nas superfícies côncavas, porém, ocorria diferenciadamente também nas superfícies convexas destas rugosidades.

Para entender as causas e origens destes núcleos de revegetação espontâneos, foi necessário estudar o comportamento das espécies vegetais e a dinâmica da sucessão secundária do ecossistema do entorno.

Com base em Bertalanffy (1975), a quem coube a primeira tentativa de criar uma Teoria Geral dos Sistemas, surge a idéia de trabalhar as áreas degradadas como sistemas. Tornava-se cada vez mais iminente a necessidade de desenvolver um modelo de sistema para recuperação de áreas degradadas, que conduzisse a uma análise mais abrangente. Importantes reflexões e estímulos à prospecção de novas idéias resultaram a partir das leituras desse autor. Destaca-se o modelo de sistema aberto aplicado aos seres vivos, considerando-se como sistema aberto àquele que troca matéria e energia com o seu entorno, o ambiente.

De acordo com Bertalanffy (1975) os “modelos verbais”, isto é, a expressão em linguagem verbal, freqüentemente precede a formulação matemática, isto é, a invenção de um algoritmo. Seria preferível ter primeiramente um modelo não matemático, com suas insuficiências, mas exprimindo aspectos anteriormente desapercibidos, esperando que o futuro desenvolvimento forneça o adequado algoritmo, do que prematuramente aplicar modelos matemáticos que seguissem conhecidos algoritmos e restringissem o campo de visão.

De Capra (1996) e Souza e Buckeridge (2004) ficou evidente a necessidade de uma abordagem sistêmica e da percepção do mundo vivo como uma rede de relações e conexões em contínuo processo de retroalimentação (*feedback*) no processo de recuperação ambiental. Das leituras de Daenzer e Huber (1992 *apud* FRANK, 1998) consolidou-se a necessidade de valorizar as inter-relações do sistema. Tornou-se imprescindível ampliar o foco das observações de campo para melhor compreender as relações bióticas e abióticas que se estabeleciam no processo de recuperação ambiental e a necessidade de um modelo de análise mais abrangente. A concentração de todos os esforços e energia apenas na área degradada, baseados na bibliografia disponível, se constituía numa visão reducionista que desvinculava a área de sua inserção no ecossistema local. Era necessário compreender os fluxos de matéria e energia que estabeleciam relações entre o ambiente externo e a área degradada.

Neste estágio procurou-se entender através das observações de campo as relações entre a ecologia do solo, o clima, as rugosidades do terreno, a radiação, a água, a diversidade ecológica e as variações biométricas das plantas.

Das reflexões extraídas de Lorens (1996) sobre a teoria do caos e os sistemas dinâmicos complexos, emergiu a idéia de que pequenas modificações no terreno (rugosidades) poderiam gerar instabilidades e conseqüências desejadas em grande escala ao longo do tempo. A questão era se pequenas rugosidades no terreno, capazes de reter água espontaneamente, sedimentos, sementes, propágulos e nutrientes, além de serem sede de sedimentação, propiciariam a nucleação², funcionando ao longo do tempo como atratores gravitacionais, e poderiam fazer uma grande diferença na evolução do sistema degradado?

Emergia, assim, a idéia de tratar as áreas degradadas como um sistema na ótica da teoria do caos. Seriam as áreas degradadas sistemas dinâmicos complexos hiper-sensíveis às condições iniciais de preparação do terreno? Irregularidades de pequena escala poderiam desencadear grandes mudanças e acelerar o processo de recuperação ambiental?

As rugosidades, notadamente as superfícies côncavas, funcionariam como atratores dinâmicos (gravitacional) concentrando água, sedimentos, nutrientes e sementes, e com o passar do tempo resultariam em ilhas de diversidade capazes de se expandir pela área em recuperação? De outra forma, poderiam as superfícies convexas, como sede de erosão, representar áreas de grande instabilidade que contribuiriam para manter o sistema afastado do estado do equilíbrio estimulando as interações ecológicas?

² A capacidade de um componente ou espécie em propiciar uma significativa melhoria nas qualidades ambientais permitindo a ocupação deste ambiente por outras espécies.

4 HIPÓTESE E OBJETIVOS DA PESQUISA

4.1 HIPÓTESE DA PESQUISA

As áreas degradadas são sensíveis às condições iniciais de preparação do terreno e as suas rugosidades e conseqüentes gradientes ecológicos, além de representarem variabilidade ambiental, instabilidade e desequilíbrios, podem desencadear ao longo do tempo propriedades emergentes que aceleram a recuperação ambiental.

4.2 OBJETIVO GERAL

Propor um modelo de sistema para a recuperação ambiental de área degradada por mineração de argila, tratando a área como um sistema dinâmico complexo, hiper-sensível às condições iniciais de preparação do terreno.

4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Testar o efeito das superfícies côncavas e convexas associadas, na internalização da matéria e energia (retenção de água, sedimentos, propágulos...) em área degradada pela mineração de argila, em processo de recuperação ambiental;
- b) Comparar a evolução das variáveis ambientais bióticas (biometria da *Mimosa scabrella*, índice de cobertura do solo, fauna de invertebrados...) e abióticas (composição química, densidade, umidade e densidade do solo, coeficiente de escoamento d'água e perda de solo...) do modelo de preparação do terreno proposto com o modelo convencional formado por superfícies planas e mais regulares, no processo de recuperação ambiental.

5 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é dividido em seis seções. Na primeira é apresentada as pesquisas realizadas na recuperação de superfícies mineradas no planalto catarinense, na segunda seção são apresentados alguns conceitos e na terceira é contextualizada a necessidade de recuperação ambiental das áreas degradadas pela atividade da mineração e são listadas as recomendações gerais para a sua recuperação. Na quarta seção faz-se uma abordagem teórica integradora dos conhecimentos baseado na Teoria Geral dos Sistemas e na quinta seção caracterizam-se os ecossistemas. Na sexta seção são apresentadas as estratégias, as técnicas e os indicadores da recuperação ambiental de ecossistemas degradados.

5.1 RECUPERAÇÃO DE SUPERFÍCIES MINERADAS DE ARGILAS NO PLANALTO CATARINENSE

Diversos trabalhos de pesquisa de graduação e mestrado foram desenvolvidos na mina de Campo Formoso, município de Doutor Pedrinho, com o intuito de diagnosticar e propor alternativas mais eficientes para recuperação das áreas degradadas pela mineração (BALISTIERI; AUMOND, 1997; NAU; SEVEGNANI, 1997; REGENSBURGER, 2000, 2004).

Balistieri e Aumond (1997) constataram a ineficiência do uso de espécies não adaptadas às condições edáficas locais e recomendaram como alternativa a aplicação da sucessão ecológica do ecossistema original, incluindo espécies mais agressivas e de crescimento rápido.

Por meio de coleta de espécies vegetais e análise da composição florística e fisionômica da vegetação da área, Nau e Sevegnani (1997) constataram que o substrato argilo-siltoso dificultava a revegetação, destacando, no entanto, que algumas espécies apresentavam desenvolvimento menos precário, tais como: *Brachiaria decumbens*, *Viccia sativa* e *Lolium perene*. Nos ambientes bem drenados, as autoras registraram a recolonização natural através de *Baccharis gaudichaudiana*, *Baccharis dracunculifolia*, *Croton celtidifolius* e *Alchornea triplinervia*, e nos ambientes mais úmidos, através de *Cyperus hermaphroditus*, *Eleocharis cf. mutata*, *Rhynchospora corymbosa*. Baseado nas observações de campo, as autoras recomendaram, para acelerar a revegetação, a semeadura de consórcio de gramíneas e leguminosas arbóreas pioneiras. Verificaram também a necessidade de aprofundar o

conhecimento da sucessão secundária. Cabe ressaltar que o ecossistema do entorno da área pesquisada pelas autoras é composto por fragmentos florestais secundários de Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de sucessão (BALISTIERI; AUMOND, 1997; NAU; SEVEGNANI, 1997; REGENSBURGER, 2000, 2004).

Em pesquisa na mesma região, realizada para acelerar o processo de sucessão secundária, Regensburger (2000) selecionou nove espécies arbóreas da floresta do entorno e em três delas realizou a inoculação com *Rhizobium sp.* Após oito meses, o índice de sobrevivência das espécies foi inferior a 40%, apresentando um déficit de crescimento em função das adversidades locais e um inverno extremamente rigoroso e seco naquele ano. A única espécie que se destacou foi *Mimosa scabrella* (bracatinga), que apresentou incremento em comprimento e diâmetro, que não pode ser considerado significativo quando comparado com os indivíduos não inoculados.

Regensburger (2004) constatou também que, o potencial e validade do uso de serapilheira, bracatinga, poleiros artificiais e topografia irregular (alternância de superfícies convexas e côncavas), com o propósito de ampliar as interações ambientais no processo de recuperação ambiental, exigem um tempo de observação e pesquisa maior que nove meses.

Nau e Sevegnani (1997) recomendam considerar nessa região o processo da sucessão ecológica, para recuperação de áreas degradadas, citando espécies colonizadoras das famílias Asteráceae, Cyperáceae, Poaceae, fabaceae, especialmente a *Mimosa scabrella*.

5.2 CONCEITUAÇÕES

De acordo com o IBAMA (1990): “A **degradação** de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e vazão do regime hídrico forem alteradas”.

Para Parrota (1992), áreas degradadas são aquelas caracterizadas por solos empobrecidos e erodidos e que apresentam instabilidade hidrológica, produtividade primária e diversidade biológica reduzidas. Blum (1998), ao introduzir o conceito de energia armazenada nos sistemas, propôs que ambiente degradado seja caracterizado pela perda dessa energia. Ao comentar a definição de Blum (1998) e Kobiyama, Minela e Fabris (2001), ao assumirem que as funções e usos do solo têm como base a sua energia armazenada, sugerem que a degradação do solo é igual a perda de suas funções e usos. Assim, nas avaliações de áreas degradadas e da sua recuperação se deve considerar o nível de energia do sistema. Ainda que a maioria dos conceitos de áreas degradadas esteja relacionados ao solo, entende-se aqui que

neste deve estar englobado também a água, o ar e os organismos. A degradação decorre de processos e fenômenos do meio ambiente, naturais ou antropogênicos que prejudicam as atividades de um ou mais organismos. A entropia é a sujeira no sistema, que resulta da desarmonia dos processos envolvidos. Área degradada é aquela que apresenta maior entropia do que um ambiente equilibrado (PARROTA, 1992).

Segundo definição do IBAMA (1990), a **recuperação** é constituída por ações que possibilitem a reversão de uma área degradada para uma condição de não degradada, de acordo com um plano preestabelecido numa nova condição estável para atingir um novo equilíbrio dinâmico e desenvolver um novo solo e uma nova paisagem.

De acordo com os conceitos do IBAMA (1990) e Jackson, Lopoukhine e Hillyard (1995) e, a recuperação ambiental ocorre quando se almeja estabelecer uma nova estrutura e uma função similar à original, mas não necessariamente idêntica.

Para Majer (1989), o termo recuperação é generalista e inclui todas as ações que objetivam a futura re-utilização da área degradada. A reabilitação é o processo de recuperação cujo objetivo seria obter um estado biológico estável adequado, portanto exclui a possibilidade de uso produtivo com vistas à obtenção de lucro.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR:13030, referente à elaboração e apresentação de projetos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração, a **reabilitação** é o “conjunto de procedimentos através dos quais se propicia o retorno da função produtiva da área ou dos processos naturais, visando adequação ao uso futuro”. A **recuperação** é o “conjunto de procedimentos através dos quais é feita a recomposição da área degradada para o estabelecimento da função original do ecossistema”. Essa Norma define também a **restauração** como “o conjunto de procedimentos através dos quais é feita a reposição das exatas condições ecológicas da área degradada pela mineração, de acordo com o planejamento estabelecido”.

Para Dias e Griffith (1998), o termo restauração é impróprio porque implica na obrigatoriedade do retorno ao estado original da área, antes da degradação, incluindo aspectos como topografia, vegetação, solo, fauna, solo, hidrologia entre outros. No entanto, esta conceituação não é unânime e o termo restauração pode também ser definido como a restituição do sistema em sua estrutura e função para uma condição próxima da condição original e deve ser empregado para áreas de preservação (BROWN; LUGO, 1994).

De acordo com a Lei n. 9.985, de 18/7/2000, que regulamenta o art. 225º e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, no seu artigo 2º, estipula que:

XIII – recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original;

XIV – restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível de sua condição original.

No presente trabalho adotou-se o conceito de recuperação do Sistema Nacional de Conservação da Natureza (2000), em função do curto tempo de realização da pesquisa. No entanto, dado às características do modelo de recuperação proposto é possível que a longo prazo, se atinja a restauração da área.

5.3 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

A Constituição Brasileira, promulgada em 1988, em seu artigo 225, tratou, de forma específica, a exploração e recuperação de áreas degradadas pela Mineração. Em seu parágrafo segundo estabelece: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

Os projetos de recuperação de áreas degradadas por mineração devem incluir planos de fechamento de mina de forma que os passivos ambientais não inviabilizem os empreendimentos. A recuperação de áreas degradadas é um elemento do plano de fechamento de mina. Para a sua execução é sugerida a avaliação de cenários de fechamento, baseados em parâmetros ambientais, tanto do ponto de vista do cenário sócio-econômico quanto do cenário ecológico futuro, após o fechamento da mina (BRANDT, 1998).

Atendendo a necessidade da comunidade de mineradores, o IBAMA (1990) elaborou um Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração. Deste manual foram extraídos e apresentados, a seguir alguns tópicos mais relevantes.

A atividade de mineração apresenta um grau de impacto de alta magnitude, em função das modificações físicas e bióticas que provoca na área de influência direta e indireta do local de exploração. Para que o projeto de recuperação tenha sucesso, algumas ações e técnicas são recomendadas:

- a) remoção e estocagem da camada fértil do solo minimizando ao máximo possível alterações de suas características originais;

- b) preenchimento da área lavrada (cava), devendo a cota final ser o mais regular possível;
- c) recomposição topográfica e paisagística harmoniosa e com alguma similitude com o relevo anterior. Para a manutenção da vida selvagem é recomendada a criação de murundus e de pequenas depressões, suaves e rasas, para acumulação de água e atração da fauna;
- d) para a revegetação, são necessárias medidas como a colocação da camada fértil do solo, a construção de terraços em camalhões e sistema de drenagem, redução do grau de compactação do solo, com práticas mecânicas e culturais e correção da fertilidade do solo. O uso de serapilheira, por representar o banco genético do ambiente natural é recomendado porque protege a superfície dos raios solares, conserva a umidade do solo;
- e) a capacidade reprodutiva e sobrevivência de muitas espécies vegetais, depende das relações co-evolutivas com espécies animais e por isso, a fauna deve ser considerada um dos elementos importantes do ambiente, na pedogênese e na recuperação dos solos, reciclando nutrientes e revolvendo as camadas do solo. Algumas espécies da fauna podem ser utilizadas como indicadores de recuperação de *habitats*. O levantamento da fauna deve cobrir preferencialmente um ano, caso não seja possível, cobrir duas estações contrastantes (por exemplo: estação chuvosa e seca). No levantamento dos invertebrados os estudos podem abranger os lepidópteros, coleópteros, isópteros, himenópteros e hemípteros. Os fatores abióticos, tais como, temperatura, umidade relativa do ar, condições climáticas, devem ser relacionados com parâmetros biológicos. Para a recuperação da fauna, é recomendada a técnica de remodelagem da topografia, criando ondulações, depressões não drenadas e pequenos acidentes topográficos para fornecer a diversidade de *habitats*, abrigo e proteção contra intempéries e fonte de água.

De acordo com Barth (1989) a água, como agente causador de erosão, tem sido um problema significativo nos projetos de recuperação ambiental das grandes empresas mineradoras brasileiras. Caso não haja restrições, o solo deve ser escarificado (“ripagem”) até uma profundidade de pelo menos um metro. Além da escarificação, a criação de superfícies ásperas e pequenas covas de 20 a 30 centímetros interrompem o escoamento das águas pluviais e cria “micro-habitats” que facilita a germinação de sementes. O esforço para recuperação tem sido prejudicado devido a compactação do solo que reduz a disponibilidade

do oxigênio às raízes, dificulta a infiltração da água e cria barreiras físicas para a penetração do sistema radicular.

Embora os solos tropicais tenham, em geral, baixos teores de nutrientes, são fontes importantes de micronutrientes, tais como zinco, boro, cobre, cobalto e macronutrientes como o potássio. Nesse contexto a presença de microorganismos é da maior importância para o ciclo, a conservação e a absorção dos nutrientes pelas plantas. Embora grande parte da vida microbiológica seja destruída durante o armazenamento do solo orgânico, uma quantidade suficiente sobrevive, sendo de grande valor, e decisivo em recuperação das áreas degradadas. A transferência direta do solo orgânico durante a lavra do minério, sem necessidade de armazenamento, minimiza as perdas microbianas e de nutrientes e maximiza o número de plantas e sementes (BARTH, 1989).

5.4 ABORDAGENS SISTÊMICAS EM RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Para a construção de uma abordagem teórica integradora em recuperação de áreas degradadas é indispensável levar em consideração a concepção de sistemas (O'CONNOR, 1997; GRIFFITH, 2005), e a Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1975) aplicada aos sistemas dinâmicos complexos (MACIEL, 1974; ODUM, 1988; GLEICK, 1989; LORENS, 1996; VIVAN, 1998), as leis da Termodinâmica e suas implicações na entropia dos ecossistemas, e também os processos ocorrentes em estruturas dissipativas, aplicados aos sistemas vivos, desenvolvidos por Prigogine e Glansdorff (1971, 1997) e Prigogine e Stenger (1984), o padrão da auto-organização dos seres vivos de Maturana e Varela (1997), integrados necessariamente dentro de uma abordagem sistêmica.

5.4.1 Sistemas: conceitos, componentes, hierarquia e abordagem sistêmica

Para tratar de áreas degradadas como sistemas, faz-se necessário conceituar o que seja sistema, ecossistema e abordagem sistêmica.

Um sistema é uma entidade que mantém sua existência e funções como um todo por meio da interação das partes (O'CONNOR, 1997). De acordo com esse autor para que haja um sistema suas partes devem estar interconectadas funcionando como um todo. O arranjo das partes do sistema é crucial e caso elimina-se ou extrai-se uma parte, então ele não funcionará como o sistema original. Assim, o comportamento do sistema depende de toda a estrutura e a mudança na estrutura implica na mudança do comportamento do sistema.

Griffith (2005) ao comentar Anderson e Johnson (1997) resumem sistema como um grupo de componentes interligados, inter-relacionados ou interdependentes, que formam um todo complexo e unificado funcionando como um todo, com cinco características essenciais: todas as partes necessitam estar presentes para garantir o funcionamento do sistema; existe um arranjo específico das partes para que o sistema consiga alcançar a sua meta e a mudanças na estrutura muda o comportamento do sistema; os sistemas realizam as suas metas específicas e próprias dentro de sistemas ainda maiores; os sistemas mantêm a sua estabilidade por meio de flutuações e ajustes; e finalmente, existem fluxos de retroalimentação (“*feedback*”) nos sistemas.

Um sistema é composto de elementos e em sua concepção estão embutidos, sempre e simultaneamente, a existência de três conjuntos: o conjunto de elementos, o conjunto de relações que ligam elementos e o conjunto de atividades efetivas ou potenciais. Um elemento ativo é uma parte mínima bem definida de um sistema (todo) que depende do “ambiente” e que age sobre esse meio. Esse “meio” pode ser o “interior” ou o “exterior” do sistema, ou ambos (MACIEL, 1974).

Ricklefs (1996) entende ecossistema como um conjunto de organismos que trocam energia e processam materiais interagindo com seus ambientes físicos e químicos, contribuindo para os fluxos de energia e para a reciclagem de elementos no mundo natural. O ecossistema é uma gigantesca máquina termodinâmica que continuamente dissipa energia em forma de calor. Esta energia inicialmente entra no domínio biológico do ecossistema via fotossíntese e produção vegetal proporcionando energia para animais e microorganismos não-fotossintéticos.

Na análise de um sistema ecológico alguns princípios são fundamentais: (1) os sistemas ecológicos funcionam de acordo com as Leis da Termodinâmica; (2) o meio ambiente físico exerce uma influência controladora na produtividade; (3) a estrutura e a dinâmica das comunidades ecológicas são reguladas pelos processos populacionais; e (4) os organismos respondem às mudanças do meio através da evolução dentro das populações (RICKLEFS, 1996).

Para Bertalanffy (1975, p. 17) “os sistemas estão em toda parte”. Pela primeira vez se diferenciava e sistematizava as diferenças entre um sistema aberto e um sistema fechado. Os geossistemas é uma classe peculiar de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados (BERTALANFFY, 1975).

Conforme Odum (1988, p. 9) um sistema ecológico ou ecossistema é:

Qualquer unidade que abranja todos os organismos que funcionam em conjunto numa área, interagindo com o ambiente físico de tal forma que um fluxo de energia produza estruturas bióticas, claramente definidas e uma ciclagem de materiais entre as partes vivas e não vivas.

Para Odum (1988) simplificadaamente existem três componentes básicos no ecossistema: comunidade, fluxo de energia e ciclagem de materiais. Os sistemas que contém comunidades biológicas podem ser concebidos ou estudados em qualquer um dos seus níveis hierárquicos. A melhor maneira de delimitar ecologia moderna é considerar conceitos de hierarquia. Hierarquia constitui o arranjo graduado do “espectro biológico” que inclui organismos, populações e comunidades.

Um sistema é um subsistema em relação ao nível hierárquico imediatamente superior, como por exemplo, uma célula em relação ao órgão ou organismo. Em outras palavras: a natureza se constitui de sistemas dentro de sistemas ou de sistemas de sistemas (VASCONCELLOS, 2003).

Na Figura 1, observa-se o espectro dos níveis de organização de um ecossistema.

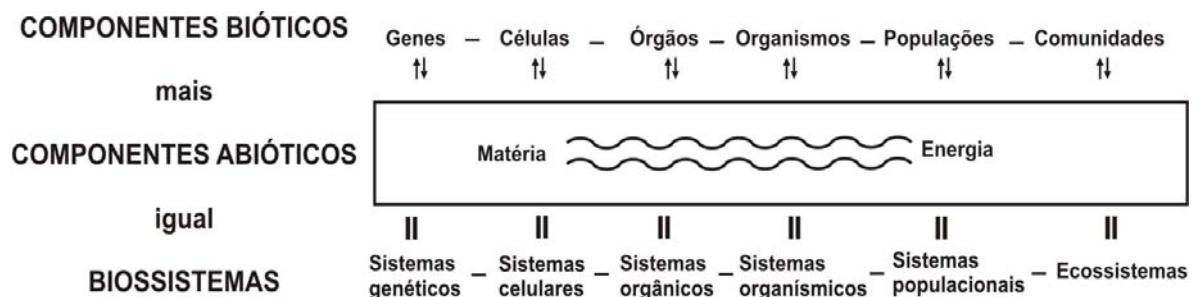


Figura 1 – Espectro dos níveis de organização de um ecossistema

Fonte: Odum (1988, p. 2).

“A ecologia enfoca a parte do lado direito do espectro, ou seja, os níveis de organização desde os organismos até os ecossistemas” (ODUM, 1988, p. 2) e inclui também as comunidades e o ambiente não vivo que funcionam juntos como um sistema ecológico num equilíbrio auto-ajustador ou estado contínuo (“*steady state*”) que está mais ou menos imune a perturbações de pequena escala.

A comunidade biológica corresponderia a um nível hierárquico do sistema e inclui todas as populações que ocupam uma área. A comunidade e o ambiente não-vivo funcionam

juntos como um sistema ecológico ou ecossistema. Como consequência da organização hierárquica, à medida que os componentes se combinam para produzir sistemas funcionais, mais emergem propriedades que não estavam presentes no nível inferior.

Para Maturana e Varela (1997) os sistemas vivos possuem uma organização e uma dinâmica interna ligadas estruturalmente e que controlam diretamente a fronteira do organismo. O padrão de organização consiste na configuração de relações entre os componentes do sistema e determinam suas características essenciais. A estrutura de um sistema consiste na incorporação física de seu padrão de organização. Nos sistemas vivos a estrutura está variando continuamente e abrange tanto os componentes como as relações entre os seus componentes. Assim a estrutura varia, mas a organização não. Griffith (2005) ao comentar a “Teoria de Santiago” de Maturana e Varela (1997) reforça que é por meio dessa fronteira, que a unidade (sistema) estabelece uma relação com o seu exterior. Por meio dessa fronteira o organismo estabelece uma relação com seu exterior “inerte” (mundo físico: solos, água, entre outros) e com outros componentes “vivos”.

Maturana e Varela (1997) ao analisar a nova teoria dos sistemas em sua proposta consideram os sistemas como autopoieticos, auto-referentes e operacionalmente fechados. Um sistema vivo é fechado organizacionalmente no sentido da auto-organização, mas está em um meio com a qual ele interage. Sua dinâmica de estados resulta em interações com o meio. A dinâmica de estados do meio resulta em interações com o sistema vivo. O meio desencadeia mudanças de estado no sistema, e o sistema desencadeia mudanças de estado no meio.

Para Bresciani e D’Ottaviano (2000) para que haja uma abordagem sistêmica, algumas condições e princípios devem ser reconhecidos: a existência do sistema constituído por um conjunto de elementos e pelas relações entre si formando uma hierarquia; a caracterização de elementos internos, externos e de uma fronteira do sistema; o recebimento de energia, matéria e informação do ambiente e possibilidade de transformá-las internamente e transmiti-las para o exterior; a manutenção de equilíbrio estrutural e funcional do sistema em sua relação com o exterior e a dinâmica de mudança de estado com a emergência de um novo estado (evolução), através do mecanismo de adaptação estrutural e funcional.

Para Schlindwein (2005) a melhor forma de lidar com situações de complexidade é a prática sistêmica. A prática sistêmica é utilizada para estruturar uma situação percebida como problemática e complexa. Entre as principais características da prática sistêmica está no fato de que os problemas não existem isoladamente e que os “ambientes” dos problemas também precisam ser considerados; o foco principal de atuação e da promoção de mudança está na interação do sistema de interesse com seu contexto, isto é, o “ambiente”; o foco deve estar no

processo de aprendizagem, na busca de um objetivo ou resultado, voltados para a promoção de melhorias nas situações-problemas em que são aplicados.

As emergências constituem propriedades ou qualidades de um sistema que apresentam um caráter de novidade com relação às qualidades ou propriedades dos componentes considerados isolados. A emergência é a característica diferencial que surge quando as qualidades do sistema ultrapassam a soma das propriedades do nível anterior. Elas retroagem sobre as partes enquanto partes (MORIN, 2003).

5.4.2 Sistemas dinâmicos complexos e o caos

Os sistemas podem ser classificados em simples ou complexos e suas análises podem ser realizadas sob uma perspectiva analítica ou sistêmica. No sistema simples, também conhecido como linear, a relação de causa e efeito entre as variáveis pode ser prevista com precisão (CHRISTOFOLETTI, 1999). Na abordagem analítica, também denominada reducionista, se analisa os elementos que compõem o sistema e suas partes (subsistemas ou subconjuntos) com intuito de desvendar suas propriedades. Os sistemas dinâmicos complexos, no entanto, apresentam propriedades que emergem da interação de suas partes e só podem ser compreendidos como um todo integrado e não como uma coleção de partes dissociadas. O todo é maior que a somatória das partes isoladas. Na perspectiva do pensamento sistêmico, a relação entre as partes e o todo foi invertida (BERTALANFFY, 1975; CAPRA, 1996). O mundo não é uma coleção de objetos e os sistemas complexos não podem ser compreendidos pelas propriedades de suas partes, mas como uma rede de relações. Há uma mudança do foco das partes para as relações (CAPRA, 1996; MATURANA; SOUZA; VARELA, 1997. BUCKERIDGE, 2004).

Os sistemas dinâmicos complexos constituem conjuntos de elementos interligados, com capacidade de trocar informações com o ambiente (entorno) e possuem a capacidade de adaptar sua estrutura interna em função dessas interações (CRISTFOFOLETTI, 1999). Nesses sistemas não lineares, a resposta a um determinado distúrbio não é necessariamente proporcional à intensidade deste distúrbio e por isso afirma-se que, como quase todos os fenômenos da natureza, são fenômenos dinâmicos caóticos. Por outro lado, os fenômenos naturais podem passar de um comportamento linear para o caos e deste para a linearidade. Esses sistemas complexos ou caóticos são compostos por uma grande diversidade de elementos (subsistemas), com liberdade de comportamentos que interagem espacial e temporalmente gerando padrões emergentes, apenas observáveis em escalas maiores. A

aparente aleatoriedade dos fenômenos caóticos contém uma certa ordem, que emerge a partir de atratores que conduzem os sistemas para um limite do qual não passariam. Os sistemas caóticos se afastam da previsibilidade inicial, e o acaso é uma característica chave (GLEICK, 1989; RUELLE, 1993; CAPRA, 1996; LORENS 1996; SOUZA; BUCKERIDGE, 2004; CAMARGO, 2005). De acordo com esses autores as principais características dos eventos caóticos são:

- a) hipersensíveis às suas condições iniciais;
- b) só ocorrem com mais de três variáveis e quanto mais complexo for o sistema, maior será sua possibilidade de caos;
- c) em seu estado inicial, os sistemas caóticos possuem previsibilidade zero;
- d) ocorrem em um espaço limitado.

Assim, a Teoria do Caos é um caminho para se entender os fenômenos naturais que apresentam comportamento aparentemente aleatório, mas que, analisados estatisticamente, são, na realidade, gerados por sistemas estocásticos.

Estudos realizados por Anand e Desrochers (2004) utilizando modelos e conceitos de sistemas complexos para avaliar o processo de restauração ambiental sugerem a validação da teoria do caos (sistemas dinâmicos complexos) para compreender e quantificar os processos de recuperação ambiental. Conceitos de atratores e padrões de comportamento das comunidades ao invés de focalizar medidas de espécies individuais e a análise dos componentes principais, embora seja uma técnica linear, podem ajudar a detectar trajetórias não lineares da recuperação ambiental. Segundo experiências desses autores, duas fases da recuperação foram detectadas numa área degradada, com base na teoria do caos. Uma fase linear inicial com a evolução da comunidade e conseqüente redução da área desmatada e uma segunda fase, na qual a restauração evolui em resposta a um atrator estranho na qual o seu estado final é difícil se prever, mas que representa as circunstâncias necessárias para que o sistema ecológico siga sua complexa trajetória natural.

Entre as principais características dos sistemas dinâmicos complexos (sistemas caóticos) está o processo de retroalimentação (“*feedback*”), em que pequenas mudanças podem ocasionar efeitos dramáticos, pois podem ser amplificadas pela realimentação. A segunda propriedade é a existência de níveis críticos, ou patamares, a partir dos quais o sistema se desequilibra. Essa mudança de estado geralmente é causada por um pequeno aumento do fluxo de matéria e energia. A terceira propriedade é o surgimento da dimensão fractal. Fractais são conjuntos cuja forma irregular ou fragmentada, apresentam essencialmente o mesmo padrão geométrico em todas as escalas. Os fractais é a expressão

geométrica, ou formas estruturais resultantes de processos caóticos. A Teoria do Caos descreve a evolução histórica dos sistemas não lineares e a Geometria Fractal registra as imagens do seu movimento no tempo. A Teoria do Caos e a “matemática da complexidade” também denominada “Teoria dos Sistemas Dinâmicos” são ferramentas importantes para análises dos fenômenos naturais (GLEICK, 1989; SOUZA; BUCKERIDGE, 2004).

Da integração das informações dos autores (MACIEL, 1974; BERTALANFFY, 1975; ODUM, 1988; MATURANA; VARELA, 1997; SOUZA; BUCKERIDGE, 2004) extrai-se que os fenômenos naturais, em sua maioria, se constituem em sistemas dinâmicos complexos que apresentam uma dinâmica evolutiva determinada pela sua estrutura e pelos fatores externos, principalmente energéticos (radiação solar, luminosidade), materiais (precipitação, CO², entre outros) e causas endógenas (Figura 2).

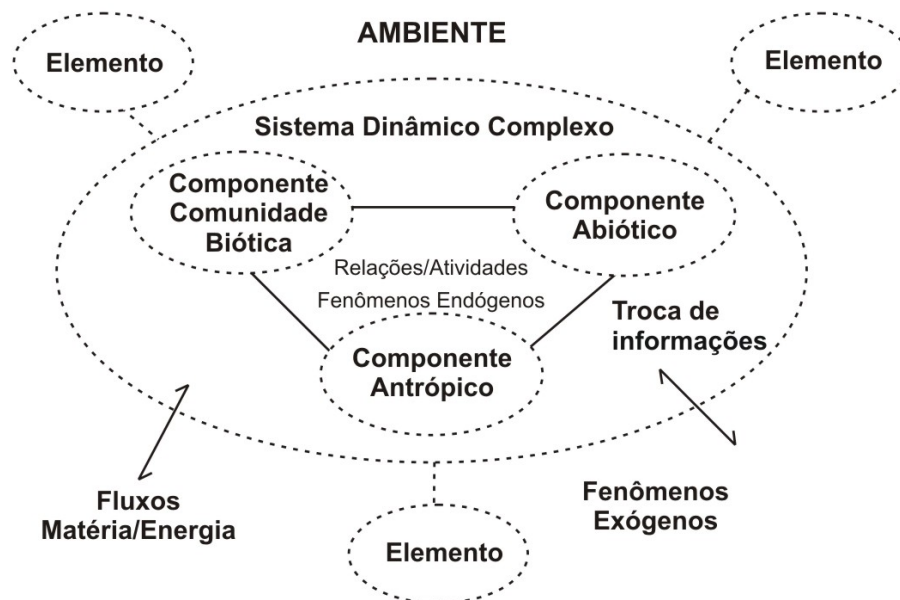


Figura 2 – Representação esquemática de um sistema dinâmico complexo, evidenciando as interações entre os elementos e o todo integrado dinamicamente

Fonte: O autor (2007).

Os componentes que fazem parte desse sistema são a comunidade biológica, o fluxo de energia e a ciclagem de materiais (ODUM, 1988).

Os sistemas dinâmicos complexos são formados por conjuntos de elementos, também denominados de elementos ou subsistemas (vegetação, fauna, solo, radiação, água, entre outros), relações e atividades, que incluem a comunidade biótica e os componentes abióticos, inter-relacionados e organizados hierarquicamente. O componente antrópico pode intervir nos sistemas naturais degradando ou recuperando-os. De acordo com Santos (1991) o homem ao

impor ao seu entorno suas próprias formas, criou uma segunda natureza. Hoje a separação entre homem e o seu meio natural se confunde, pois “a natureza se socializa e o homem se naturaliza”.

5.4.3 Ecossistemas e a homeostasia

Uma das características fundamentais dos ecossistemas é a homeostase. Homeostasia é a tendência à estabilidade interna do organismo ou, ainda, a propriedade auto-reguladora de um sistema que permite manter o estado de equilíbrio dinâmico de suas variáveis essenciais e de seu meio ambiente. A homeostase ou auto-regulação dos sistemas florestais resulta de estratégias evolutivas e consórcios de espécies. A auto-regulação se expressa nas árvores, no nível individual, desenvolvendo capacidades específicas, como a perda de folhas em períodos de estiagem. No nível das interações ela se expressa, por exemplo, na capacidade de exudação de nutrientes pelas raízes de forma a inibir ou estimular o crescimento para compor e regular de forma otimizada o consórcio de espécies como a própria atividade biológica na rizosfera. Ela pode se expressar reciclando nutrientes, evitando assim a perda de umidade e a oxidação da matéria orgânica dentro da estratégia de conservação energética prevista nas Leis da Termodinâmica (VIVAN, 1998).

Os ecossistemas procuram um estado de equilíbrio dinâmico por meio de mecanismos de autocontrole e auto-regulação que entram em ação como uma resposta às mudanças. Entre a mudança e o mecanismo de auto-regulação existe um tempo de resposta. Em caso de alteração de comportamento do ecossistema, ele aciona os mecanismos homeostáticos para garantir a normalidade. No entanto, eles só são efetivos quando mudanças não são muito profundas e demoradas (BRAGA *et al.*, 2004).

De acordo com Laslo (1972 *apud* VASCONCELLOS, 2003) os sistemas naturais se mantêm a si próprios, num ambiente de mudanças e por outro lado, eles criam-se a si próprios em resposta aos desafios do ambiente. A autocriatividade é considerada como uma resposta do sistema a condições do ambiente que não podem ser enfrentadas com a estrutura existente. Os sistemas naturais se auto-organizam diante dos desafios do ambiente tendendo a uma maior complexidade. Essa tendência dos sistemas naturais para a automudança de balanceamento é denominada de segunda ordem. É uma mudança de segunda ordem porque implica em salto qualitativo no funcionamento do sistema.

Segundo Odum (1988) alguns atributos dos sistemas tornam-se mais complexos e variáveis à medida que se percorre a hierarquia de níveis de organização diferentes (de genes

à comunidades), porém outros atributos tornam-se menos complexos e variáveis ao longo do percurso da unidade menor à maior. As propriedades emergentes de um nível hierárquico não podem ser previstas ou estudadas pela análise dos componentes isolados desse mesmo nível.

A emergência é uma qualidade nova e por isso tem a virtude do novo, do acontecimento, porque emerge de maneira descontínua, uma vez que o sistema já estava constituído. Ela tem o caráter da irreduzibilidade e é uma qualidade que não se deixa decompor. Além disso, não se pode deduzir de elementos anteriores. As emergências retroagem sobre as partes e são o produto da organização e apesar de inseparável do sistema como um todo, aparecem não apenas no plano global, mas eventualmente no plano dos componentes. As emergências são as propriedades globais e particulares, resultante da transformação inseparável dos elementos e resulta numa forma nova que constitui um todo, isto é, a unidade complexa organizada (MORIN, 2003).

Os mecanismos de retroalimentação (balanceamento) tendem a reduzir as oscilações dentro de sistemas, quando unidades menores funcionam dentro de unidades maiores. Isto significa dizer que “estatisticamente a variância do todo é menor que a soma da variância das partes” (ODUM, 1988, p. 4). Por exemplo, a taxa de fotossíntese de uma comunidade florestal é menos variável que a das folhas ou indivíduos isolados desta comunidade.

5.4.4 Ecossistemas naturais e antrópicos

De acordo com Aumond (2003) os ecossistemas estáveis operam afastados do estado de equilíbrio homeostático e podem ser entendidos como supersistemas do tipo estruturas dissipativas, em analogia às estruturas dissipativas descritas por Prigogine e Glansdorff, (1971, 1997) e Prigogine e Stenger (1984). De acordo com esses autores, à semelhança do redemoinho de água ou vórtice, numa estrutura dissipativa, flui matéria e dissipa energia do ambiente e o conjunto mantém um equilíbrio estrutural e funcional. Analogamente, os ecossistemas naturais apresentam uma estrutura organizacional fechada com suas populações de animais e vegetais estabelecidas e seus componentes estão em permanente estado de mudanças e o conjunto operacionaliza a cadeia alimentar cíclica que é alimentada pelo fluxo externo de matéria e energia (CO₂ e radiação solar, entre outros). Todos os seus componentes, plantas, animais, solo e sua macro, meso e microfauna formam uma rede complexa de interações, caracterizando um conjunto de relações entre processos de produção que se mantém e produzem seus componentes dentro da cadeia alimentar, mantendo o conjunto afastado do estado de equilíbrio homeostático.

Para se entender os ecossistemas há que se adotar o padrão de organização análogo àquele que determina as características essenciais de um sistema vivo concebido por Maturana e Varela (1997) e o mecanismo das estruturas dissipativas de Prigogine e Glansdorff (1971, 1997) e Prigogine e Stenger (1984). Não se trata de fazer uma transposição literal da “autopoiese” como proposta por Maturana e Varela (1997), mas de utilizá-la metaforicamente para explicar a natureza da organização dos seres vivos num âmbito de ordem hierárquica superior, isto é, nos ecossistemas. O fechamento organizacional implica na auto-organização no sentido de que sua ordem e seu comportamento não são impostos pelo meio ambiente. Eles são estabelecidos pelo próprio sistema.

Os ecossistemas naturais são sistemas organizacionalmente fechados uma vez que todos os componentes da rede autopoietica são produzidos por outros componentes na rede, porém são abertos ao fluxo de matéria e energia, que incluem toda a cadeia alimentar com seus diferentes níveis tróficos. Existe um ambiente de entrada e saída (Figuras 3 e 6). Os organismos e suas populações de vegetais e animais, dentro de um ecossistema florestal, representam níveis de organização de estruturas hierarquicamente complexas que operam organizacionalmente fechados. Cada grupo de organismo cumpre com suas funções ecológicas. As plantas captam a energia da luz e realizam a fotossíntese, os herbívoros consomem os vegetais, os carnívoros se alimentam de outros animais e os fungos reciclam os nutrientes etc., e o todo se mantém funcionando e se reproduzindo dentro dos limites das leis da termodinâmica (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996). Esse modelo implica irreversibilidade do processo em que flui continuamente matéria e energia do ambiente e a estrutura do ecossistema, como um todo, permanece afastada do estado de equilíbrio (Figura 3). A instabilidade desse processo associada aos mecanismos e técnicas como rugosidades que permitam internalizar parte do fluxo de matéria e energia conduz à auto-organização resultante da emergência de novas estruturas que funcionam como atratores de uma complexidade crescente (AUMOND, 2003).

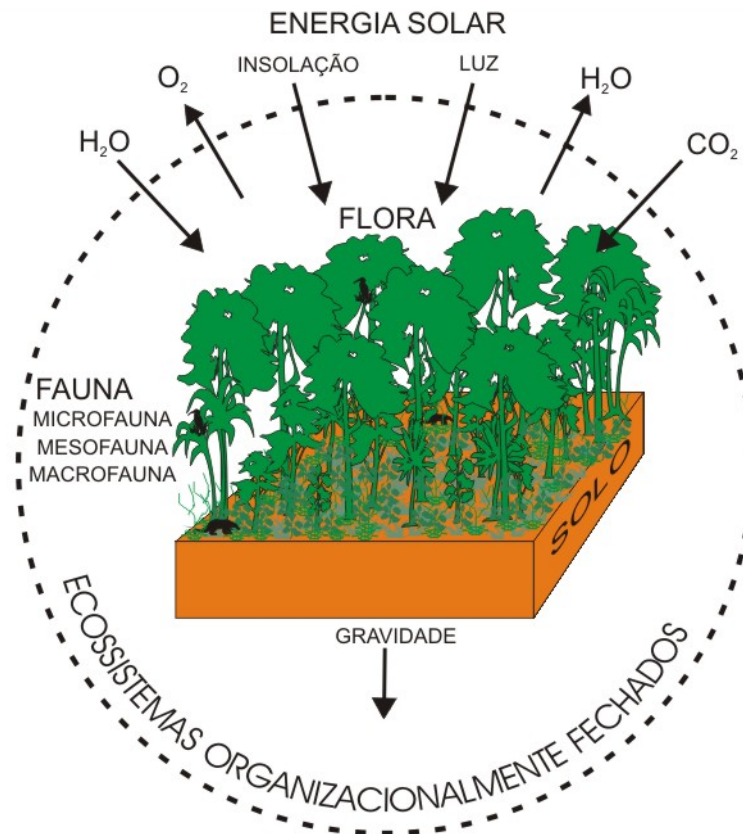


Figura 3 – A floresta como um supersistema dissipativo, estruturalmente aberto ao fluxo de matéria e energia, porém fechado organizacionalmente

Fonte: Aumond (2003).

Em contraposição aos ecossistemas naturais, os agroecossistemas agrícolas e reflorestamentos, por serem constituídos por monoculturas, apresentam complexidade menor, os ciclos biogeoquímicos têm menos componentes, suas estruturas são mais simples e são caracterizados pelo crescimento exagerado das espécies agrícolas e levam ao desequilíbrio entre populações, com sérios prejuízos ecológicos (TROPPIAIR, 2006).

Khatounian (1999, p. 179-221) ao analisar a propriedade rural produtiva, caracteriza-a como um sistema biológico, e como tal, tem limites, componentes e interações entre seus componentes. Constitui também um sistema aberto ao fluxo de matéria e energia, porque realiza trocas de materiais e energia com o meio externo. Os limites do sistema são os limites da propriedade e os componentes maiores do sistema são as plantas, os animais e a família humana, que mantém uma teia de interações entre si. Nesta concepção, de Khatounian (1999) representada de forma simplificada na Figura 4, observa-se que as principais entradas nos sistemas agrícolas são os insumos, energia, equipamentos, rações, entre outros, e as principais saídas são os produtos agrícolas. Em cada ciclo de produção ocorrem perdas provocadas pela erosão tais como sedimentos e nutrientes. Do ponto de vista ecológico, esse sistema é

formado por dois conjuntos de organismos: os produtores (vegetais) e os consumidores, representados pelos demais organismos. Enquanto os produtores realizam a fotossíntese, fixando energia solar, os consumidores dissipam a energia armazenada. Em uma floresta natural o processo é semelhante, diferenciando-se desta porque a energia armazenada pelos produtores é ciclada pelos consumidores dentro do sistema e não será exportada na forma de produto agrícola.

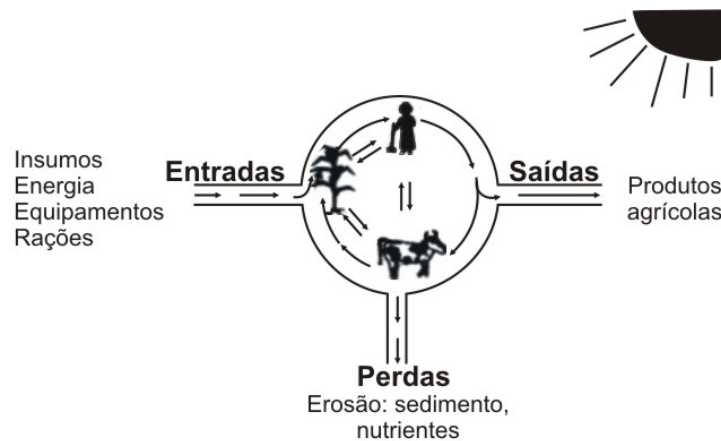


Figura 4 – Representação esquemática de um sistema plantador e criador

Fonte: Adaptado de Khatounian (1999, p. 193).

Os sistemas produtivos humanos são em sua maioria entrópicos porque estão baseados na maximização da utilização individual dos recursos. Criou-se uma perspectiva reducionista e linear da produção e um aumento da entropia com gasto de energia e matéria desconsiderando os aspectos ecológicos. Essa perspectiva tirou a percepção sistêmica das interações dos componentes bióticos e abióticos. Desconsideraram-se as saídas na forma de perdas provocadas pela erosão de sedimentos, nutrientes, entre outros (VIVAN, 1998).

As recomendações de Vivan (1998) para sistemas produtivos agroflorestais se enquadram dentro da estratégia de perseguir a otimização do fluxo dos recursos e da energia, isto significa buscar a autonomia e a intercomplementaridade, e este é também o princípio básico em recuperação ambiental.

De acordo com os autores (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996; VIVAN, 1998; KHATOUNIAN, 1999; AUMOND, 2003; BRAGA *et al.*, 2004; TROPPEMAIR, 2006) no Quadro 1 estão representada as principais diferenças entre um ecossistema natural e um ecossistema antrópico.

Quadro 1 – Principais diferenças entre um ecossistema natural e um ecossistema agro-florestal antrópico

	ECOSSISTEMAS NATURAIS	ECOSSISTEMAS AGRO-FLORESTAIS ANTRÓPICOS
Componentes	Comunidade biológica (plantas, herbívoros, carnívoros e fungos), fluxo de energia, ciclagem de materiais (ODUM, 1966)	Plantas (produtos agrícolas), animais e o homem (KATHOUNIAN, 1999)
Tendência	Evolução orientada para a otimização e conservação dos recursos e energia (VIVAN, 1998)	Produção voltada para a maximização da utilização dos recursos (VIVAN, 1998)
Características fundamentais	Homeostasia; auto-regulação (equilíbrio dinâmico auto-ajustador); estrutura hierárquica; a complexidade de comunidades forma sistemas ecológicos funcionais (AUMOND, 2003; ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996)	Manutenção do sistema com elevada entropia; o sistema é mantido a base de importação de insumos, energia e equipamentos; apresenta baixo nível organizacional (poucos componentes); os aspectos ecológicos são pouco relevantes ou desconsiderados (KATHOUNIAN, 1999; VIVAN, 1998)
Estrutura	Organizacionalmente fechada, complexa (muitos componentes) e aberta ao fluxo de matéria e energia (AUMOND, 2003)	Organizacionalmente aberta, com intervenção externa humana, com poucos componentes e manejada como se fosse um sistema fechado (AUMOND, 2003, TROPPEMAIR, 2006)
Produção	Reciclada dentro do próprio sistema (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996)	Voltada para exportação (consumo humano); Exportação de energia na forma de produtos agrícolas. (KATHOUNIAN, 1999)
Cadeia trófica	Fechada, complexa e com muitos circuitos internos (ciclos biogeoquímicos) de retroalimentação (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996, TROPPEMAIR, 2006)	Aberta, voltada para fora do sistema (consumo humano) e com ciclos biogeoquímicos mais simples, (KATHOUNIAN, 1999, TROPPEMAIR, 2006)

Fonte: O autor (2007).

5.4.5 Abordagem sistêmica e a validação da modelagem em recuperação ambiental

Os sistemas podem ser representados por modelos que são uma abstração, uma representação simplificada para facilitar a análise dos mesmos. Vale destacar a importância que as interdependências entre o sistema e o meio ambiente fiquem claramente estabelecidas no modelo. O modelo de um sistema é a ferramenta mais útil para o estudo de sistemas. A Engenharia de Sistemas lança mão da construção de modelos e a análise de sistemas é o processo lógico para avaliação de sistemas complexos (CNPq-INPE, 1973).

Para Odum (1988), a análise ecológica de um ecossistema passa necessariamente pelo uso de modelos que são versões simplificadas do mundo real. Os modelos são formulações que imitam um fenômeno real e que permitem fazer previsões quantitativas, por isso devem ser estatísticos e matemáticos (formais). No entanto, cabe destacar que os modelos podem também ser apenas conceituais.

Os sistemas ambientais são sistemas dinâmicos complexos, formados por um grande número de elementos interligados, com capacidade de troca de informações com seu entorno condicionante e com capacidade de adaptar sua estrutura interna como consequência das interações entre seus elementos. De sua complexidade resulta a necessidade de uso de modelos para análise e interpretação (CRISTOFOLETTI, 2004).

Sistemas ambientais são organizacionalmente fechados, porém abertos em termos de fluxos de matéria e energia, recebendo entradas (*inputs*) de matéria e energia, transformando-as e gerando produtos (*outputs*). Na modelagem de sistemas ambientais é necessário analisar os fluxos e as transformações de determinadas entradas tais como água, sedimentos, calor, matéria-prima, alimentos e outros. Os modelos para análise dos processos em sistemas procuram focalizar os fluxos de matéria e energia, as características dos processos atuantes e os mecanismos de retroalimentação (CRISTOFOLETTI, 2004).

Na validação da modelagem da natureza complexa muitas vezes bastam informações sobre poucas variáveis porque “fatores chave”, “propriedades emergentes” e “integradoras” dominam ou controlam uma grande proporção da ação (ODUM, 1988). A modelagem começa com a construção de um diagrama. Para um modelo funcional de uma situação ecológica existem no mínimo quatro ingredientes: uma fonte de energia (ou outra função motriz externa); propriedades, chamadas de variáveis de estado; vias de fluxo (indicam onde os fluxos de energia ou transferência de matéria ligam as propriedades entre si), e as interações ou funções interativas, onde as forças e as propriedades interagem para alterar, amplificar ou controlar os fluxos ou criar novas “propriedades emergentes”. Um bom modelo, segundo este autor, deveria incluir: o espaço (os limites do sistema); os subsistemas (componentes) e um intervalo de tempo a ser considerado. Na Figura 5 representa-se um modelo com entradas (*inputs*), saídas (*outputs*), mostrando um circuito interno de retroalimentação (ODUM, 1988, p. 7).

O estado do sistema e o seu comportamento ao longo do tempo dependem da interação da entrada externa Z com a entrada ZX do circuito interno de retroalimentação conforme indicado na Figura 5 (MESAROVIC; TAKAHARA, 1975 *apud* ODUM, 1988). Este modelo simplificado serve apenas para evidenciar o circuito interno de retroalimentação. Os modelos de sistemas devem estar mais concentrados entre o sistema e a vizinhança.

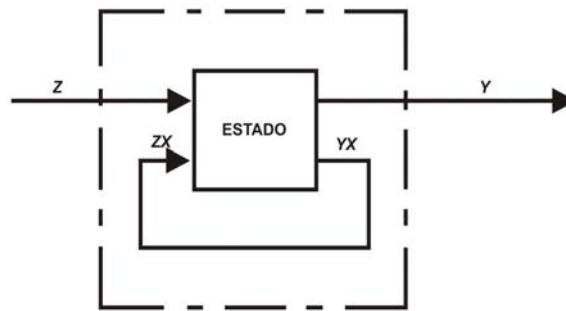


Figura 5 – Modelo simplificado com entradas, Z e saídas, Y e circuito de interno de retroalimentação ZX/YX.

Fonte: Mesarovic e Takahara (1975 *apud* ODUM, 1988, p. 7).

Todos os ecossistemas são abertos e por isso é relevante, no conceito de ecossistema funcional, reconhecer que existe um ambiente de entrada e um ambiente de saída para manter os processos vitais, que permitam exportar a energia e os materiais já processados (BERTALANFFY 1975; ODUM 1988).

Daenzer e Huber (1992 *apud* FRANK, 1998) recomendam a “Engenharia de Sistemas” (*Systems Engineering*) como modelo para análise e interpretação de sistemas complexos, por se constituir num conjunto de diretrizes cuja filosofia está embasada no pensamento sistêmico. O pensamento sistêmico constitui um modo de pensar que permite a compreensão de fenômenos ou sistemas complexos. O pensamento sistêmico compreende em especial conceitos para descrever totalidades complexas e inter-relações sem ter de simplificá-los excessivamente e abordagens que facilitam o pensamento globalizante. Para estes autores, os modelos sistêmicos devem ser representativos da situação e do problema que está sendo analisado e devem estar mais concentrados nas relações entre o sistema e a vizinhança. Quando a abordagem está voltada para as relações entre sistema e vizinhança o sistema é denominado “*black-box*”. No pensamento sistêmico há uma mudança do foco das partes para o todo, dos objetos para as relações. No pensamento reducionista o mundo é uma coleção de objetos. Os objetos interagem uns com os outros, portanto há relações entre eles, mas elas são secundárias. No pensamento sistêmico as relações são fundamentais.

O modelo de procedimento da “Engenharia de Sistemas” segue o princípio “do geral para o detalhe” (*top-down*), isto é, seus elementos são “*black-boxes*”. Nesta abordagem a estrutura interna do sistema não vem ao caso. No entanto, quando se aplica uma função de transferência, como, por exemplo, balanços energéticos, as relações internas não podem ser totalmente ignoradas, fala-se então em “*gray-box*” (DAENZER; HUBER, 1992 *apud* FRANK, 1998).

Na Figura 6, observa-se um diagrama conceitualmente completo com ambientes de entrada e saída com o ecossistema delimitado, enfatizando o ambiente externo (ODUM, 1988). Nesta Figura, a “caixa” central não é a única parte importante do sistema, porque um ecossistema funcional para sobreviver necessita de uma entrada para manter os processos vitais, e um meio de exportar a energia e os materiais processados (ODUM, 1988). O ambiente é a vizinhança e inclui o ambiente de entrada e de saída e o sistema corresponde à “caixa” central (*“black-box”*), constituindo o todo um conjunto integrado e acoplado, o ecossistema funcional.

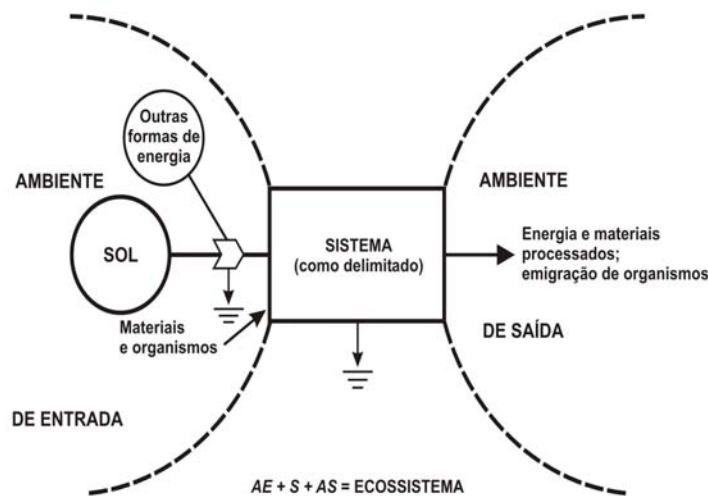


Figura 6 – Modelo de ecossistema que enfatiza o ambiente externo, o qual deve ser considerado como uma parte integrante do ecossistema³

Fonte: Odum (1988).

Na presente pesquisa entende-se o sistema, como sendo a área degradada e o ambiente, a vizinhança (Figura 7). As áreas degradadas se caracterizam pelo baixo nível organizacional (poucas interações), são organizacionalmente abertas e apresentam ciclos biogeoquímicos simples, com poucos componentes (VIVAN, 1998; KATHOUNIAN, 1999; AUMOND, 2003; TROPMAIR, 2006).

³ Legenda: AE = ambiente de entrada; S = sistema e AS = ambiente de saída

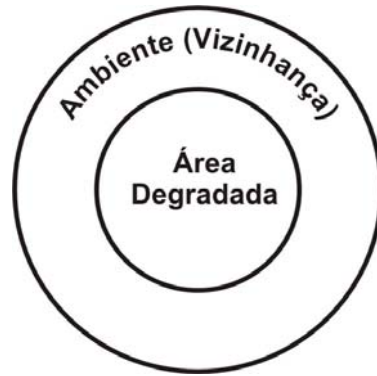


Figura 7 – Diagrama esquemático do sistema representando a área degradada e o ambiente do entorno, a vizinhança

Fonte: O autor (2007).

De acordo com Daenzer e Huber (1992 *apud* FRANK, 1998) é necessário que se identifiquem quais as entradas ou efeitos (*inputs*) e quais as saídas (*outputs*) relevantes do ambiente geram influências consideráveis sobre o sistema. Deve haver uma concentração especial orientada para a estrutura de fluxos do sistema, estruturas de processos e mecanismos. Este enfoque é útil para interpretar e explicar como o *output* decorre do *input* ou, como o *input* deve ser transformado no *output* desejado. É ainda relevante no procedimento de análise partir do geral para o detalhe (*top-down*) o que permite deslocar-se ora no âmbito do sistema mais abrangente, ora no âmbito de um subsistema sem perder de vista o conjunto das interrelações (Figura 8).

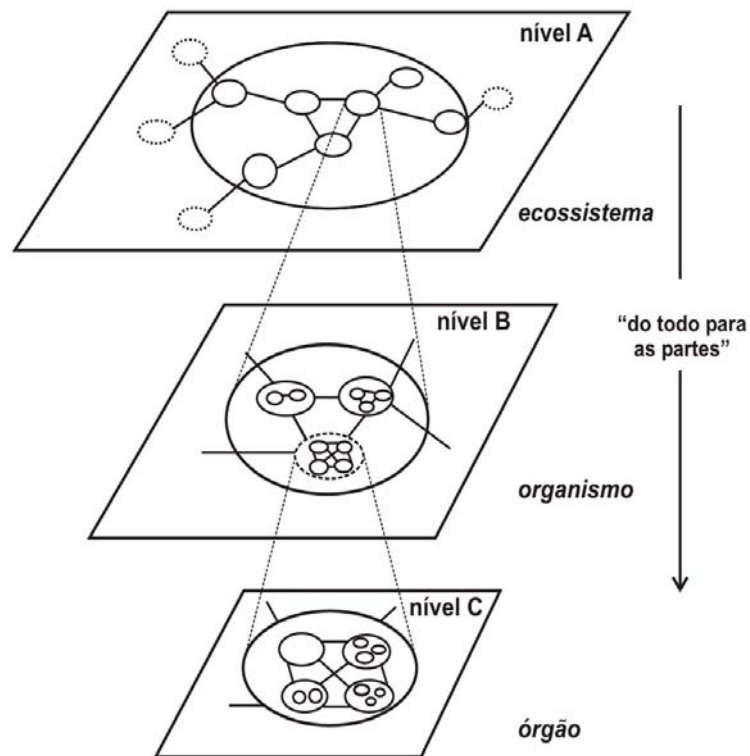


Figura 8 – Exemplo de hierarquia da natureza. Os nodos da rede de um nível expressam redes menores. Os sistemas estão aninhados dentro de sistemas maiores constituindo um sistema hierárquico

Fonte: Frank (1998).

A idéia de considerar um sistema como sendo constituído de subsistemas, e estes por sua vez, pertencentes a um subsistema maior, na literatura da Teoria Geral de Sistemas é denominada de ordem hierárquica (CNPq-INPE, 1973; BERTALLANFFY, 1975; ODUM, 1988; CAPRA, 1996).

Churchman (1971, p. 27) entende que: “O enfoque sistêmico é simplesmente um modo de pensar a respeito desses sistemas totais e seus componentes.” A análise sistêmica envolve estudos dos componentes, o ambiente e os recursos do sistema. Nesse sentido, é importante na visão sistêmica, direcionar o pensamento para a sistematização e a integração do meio ambiente com seus elementos, suas conexões, e seus processos (TROPPEMAIR, 2004).

A arte do pensamento sistêmico está em ver, através da complexidade, enxergando as estruturas subjacentes que geram a mudança no sistema. Não significa ignorar a complexidade, mas sim, organizá-la de forma coerente, lançando luz no entendimento e na forma de como as mudanças podem ser conduzidas de maneira duradoura. Significa distinguir o que é importante (variáveis primárias, mais críticas) do que é menos importante (variáveis

secundárias, menos críticas). Dominar a complexidade dinâmica usando arquétipos de sistemas para “estruturar” os problemas, auxilia na identificação dos padrões amplos e detalhados. A essência da abordagem sistêmica está em ver inter-relacionamentos em vez de cadeias lineares de causa-efeito; processos de mudança em vez de simples fatos instantâneos. A elaboração de diagramas ou círculos de causalidade (Figura 9), constituído pelo arranjo das diversas variáveis do problema, facilita a identificação e análise de padrões de interações. Ela permite reconhecer, nos sistemas dinâmicos complexos, os tipos de “estruturas” (padrões de comportamento chamados arquétipos) continuamente recorrentes (SENIGE, 1999).

Griffith e Toy (2005) ao considerar que todo o movimento de desencadeamento é sistêmico, recomendam usar os círculos de causalidade para modelar processos de recuperação ambiental. Os círculos de causalidade se constituem na ferramenta principal do pensamento sistêmico e mostram a relação de causalidade e retroalimentação entre variáveis por meio de uma seqüência cíclica. Para esses autores, um conjunto desses círculos de causalidade pode ser chamado de “diagrama de influências”. Esta forma de modelagem ajuda entender os ecossistemas, porque geralmente estes seguem padrões circulares e não modelos lineares (ODUM, 1988).

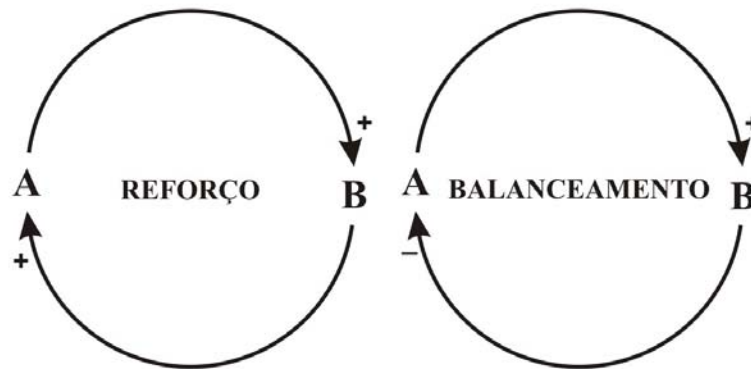


Figura 9 – Diagrama de círculo de reforço e de equilíbrio, também denominado de balanceamento ou homeostase, em que as letras representam as variáveis (ações, fatores, elementos ou subsistemas)

Fonte: Adaptado de Senge (1999).

Neste esquema adaptado de Senge (1999) os círculos de causalidade consistem de variáveis interligadas por conectores, neste caso, representados por arcos com setas. As setas indicam o sentido de causalidade ou interação entre duas variáveis de um sistema e os sinais indicam se o efeito da interação é no mesmo sentido (retroalimentação positiva de reforço) ou no sentido oposto (retroalimentação negativa de balanceamento). O *feedback* de reforço, corresponde a pequenas ações que podem evoluir transformando-se em grandes

conseqüências positivas (círculos virtuosos) ou negativas (círculos viciosos), e o *feedback* de equilíbrio (círculos de balanceamento) são mecanismos para atingir a homeostase.

Integrando as informações dos autores citados (ODUM, 1988; CRISTOFOLETTI, 1999; SENGE, 1999; CRISTOFOLETTI, 2004; DAENZER; HUBER, 1992 *apud* FRANK, 1998), um modelo esquemático e simplificado para representar um sistema ambiental deveria delimitar o espaço do sistema, identificar os componentes (subsistemas), definir um intervalo de tempo do fenômeno a ser analisado e focalizar os fluxos de matéria/energia, as características dos processos atuantes e os mecanismos de retroalimentação. Os círculos de causalidade facilitam a identificação e análise dos padrões de interação.

O ambiente de um sistema é reconhecido traçando-se arbitrariamente uma linha que delimita os constituintes do sistema a ser analisado de interesse do observador. O ambiente é algo que não existe objetivamente e independentemente de nós. O sistema e o ambiente juntos formam uma unidade (OPEN UNIVERSITY, 1998).

5.4.6 Princípios da termodinâmica e a entropia

De acordo com Bertalanffy (1975) os Princípios da Termodinâmica se aplicam aos sistemas isolados em que a entropia cresce até o máximo e finalmente para um estado de equilíbrio. Para esse autor o sistema fechado era o âmbito da aplicação da física convencional, pois tratava de sistemas isolados do seu ambiente.

A Primeira Lei da Termodinâmica, isto é, o Princípio da Conservação da Energia, afirma que a energia pode ser transformada de um tipo em outro, mas não pode ser criada e nem destruída.

A Segunda Lei da Termodinâmica, a Lei da Entropia, estabelece que quando uma forma de energia é transformada em outra, há uma perda na forma de calor, ou dito de outra forma: “nenhum processo que implique uma transformação de energia ocorrerá espontaneamente, a menos que haja uma degradação da energia de uma forma concentrada para uma forma dispersa” (ODUM, 1988, p. 55). Assim, já que alguma energia sempre se dispersa em energia térmica não-disponível, nenhuma transformação espontânea de energia em energia potencial é 100% eficiente. A entropia é, por isso, uma medida da energia não mais disponível, que resulta da transformação de uma forma de energia em outra menos concentrada.

De acordo com Georgescu-Roegen (1971) nas análises convencionais das atividades econômicas desconsidera-se o fluxo entrópico, ao excluir o meio ambiente de onde provêm os

recursos naturais. A produção segue um modelo altamente entrópico ao transformar os recursos naturais (matéria e energia) de baixa entropia em rejeitos de alta entropia (poluição e dissipação de calor).

Para Georgescu-Roegen (1977) o sistema fechado constitui a condição básica e o fundamento teórico da termodinâmica clássica. Baseado na fórmula fundamental da termodinâmica clássica para os sistemas fechados: $dU = \Delta Q - \Delta W$, onde dU é a energia interna do sistema, ΔQ é a quantidade de energia recebida como calor, e ΔW , a quantidade de trabalho realizado no sistema, desconsidera-se a entropia dos sistemas reais, omitindo-se, com esse enfoque, as perdas de energia e matéria do processo produtivo.

Adota-se a postura de que enquanto tiver energia disponível, não há limite para a quantidade de trabalho que pode ser realizado. Esta é uma visão que desconsidera alguns fatos cruciais como aquele que nem toda a energia pode ser convertida em trabalho efetivo e parte da energia é convertida em energia térmica dissipada e que não há nenhuma conversão de energia sem suporte material. No processo entrópico, além da dissipação de energia, há dissipação de matéria. Não se pode desconsiderar que, além da degradação entrópica natural que leva sedimentos para os oceanos como consequência direta da Lei da Entropia, a dissipação de matéria e energia é agravada por todas as criaturas consumidoras, especialmente os humanos (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Resulta disso que as atividades econômicas não constituem sistemas fechados porque interagem com o ambiente, fluindo matéria e energia.

Vivan (1998) advoga que, para entender os seres vivos e seus princípios da organização, há que se contextualizar a análise a partir dos princípios da termodinâmica.

Enquanto o sol e os corpos quentes dissipam calor passando de um estado instável e rico em energia para um estado energeticamente inferior, os seres vivos como um sistema delimitado, porém aberto ao fluxo de matéria e energia, são capazes de manter suas condições internas constantes, apesar das mudanças externas, excretando elementos de baixa energia. Embora a entropia, no sentido técnico, refira-se a energia, a palavra é usada num sentido mais amplo para se referir a degradação da matéria. Enquanto o universo está em franca entropia e tem como resíduo entrópico a radiação solar, os seres vivos organizam os resíduos da entropia através das interações, utilizando parte do espectro da radiação solar para sintetizar o tecido vivo e assim conservam a energia incorporada na biomassa. Os seres vivos partem de elementos simples e de baixa energia como soluções minerais, CO_2 , entre outros e utilizando parte da radiação solar, organizam estes resíduos entrópicos em formas complexas, conservadoras e de alta energia potencial. Enquanto o universo avança em sentido de uma

entropia crescente, os seres vivos e os ecossistemas possuem uma característica termodinâmica essencial, e conseguem criar e manter um alto grau de ordem interna, ou uma condição de baixa entropia através de uma contínua e eficiente dissipação de energia de alta utilidade (e.g.: luz) para dar energia de baixa utilidade (por exemplo: calor) atuando conforme a primeira lei da termodinâmica (ODUM, 1988; VIVAN, 1998).

Segundo Odum (1988) a entropia num sistema isolado pode aumentar ou permanecer constante. Pode ser também aplicado como um índice geral de desordem associado com a degradação da energia. Outra maneira de expor seria uma medida de probabilidade. Assim, um sistema fechado tende para o estado de distribuição mais provável, isto é, a tendência é para o máximo de entropia e para o máximo de desordem. No ecossistema, a “ordem” de uma estrutura complexa da biomassa é mantida pela respiração total da comunidade que “expulsa” continuamente a desordem. Por isso, os ecossistemas e os organismos funcionam como sistemas abertos, afastados do estado de equilíbrio, pois trocam continuamente energia e matéria com o ambiente para diminuir a entropia interna, à medida que aumenta a entropia externa (ODUM, 1988). A entropia indica também o índice geral de desordem associada à degradação de energia (ODUM, 1988; VIVAN, 1998).

De acordo com Bertalanffy (1975) os organismos seriam sistemas abertos que se manteriam graças ao fluxo contínuo de entrada e saída, resultando em construção e decomposição de componentes e nunca estariam em estado de equilíbrio químico e termodinâmico, porém manter-se-iam em um “estado estacionário”, devido ao metabolismo das células. Isto só é possível devido às leis internas da organização dos seres vivos.

No texto a seguir, Bertalanffy (1975, p. 137-138) expõe de uma forma elegante este aspecto:

Os sistemas que se autodiferenciam evoluindo para um grau de complexidade superior (entropia decrescente) são, por motivos termodinâmicos, possíveis somente enquanto sistemas abertos, isto é, sistemas que importam matéria contendo energia livre capaz de compensar com excesso o aumento da entropia devido a processos irreversíveis no interior do sistema.

Este processo é denominado de “importação de energia”, segundo Schrödinger (*apud* BERTALANFFY, 1975, p. 137-138).

Não fosse a energia solar, teríamos um balanço positivo chamado em física de sintropia, conhecida também como entropia negativa. A floresta organiza elementos simples em complexos à custa da energia solar, promovendo a sintropia enquanto a sua destruição e transformação em pastagem é uma ação de desorganização que produz alta entropia. A

queima de uma floresta libera energia, gases e minerais armazenados num processo de descomplexificação, isto é, variação da entropia (VIVAN, 1998).

5.5 ECOSSISTEMAS: COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS, FATORES E FENÔMENOS ASSOCIADOS

Nesta seção são apresentados os principais componentes que constituem os ecossistemas, suas características, fenômenos e processos atuantes e são indicados os fatores determinantes na sua recuperação.

5.5.1 Principais componentes de um ecossistema para recuperação de área degradada

Partindo das citações bibliográficas anteriores os principais componentes de um ecossistema que devem ser considerados num modelo teórico para a recuperação de uma área degradada são: solo, água, vegetação, fauna (invertebrados) e microclima (KHATOUNIAN, 1999; ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996; VIVAN, 1998) e rugosidade (IBAMA, 1990; BARTH, 1989; AUMOND, 2003). As rugosidades são variáveis do relevo que podem aumentar ou diminuir e que influenciam a água, a vegetação, a fauna e o solo e representam as irregularidades da superfície do terreno, que Guerra (1999) denomina de microtopografias. O microclima é expresso pela radiação, temperatura ambiente, temperatura do solo e umidade relativa do ar.

No diagrama de influências da Figura 10 estão representados o ambiente (vizinhança) e seus componentes e o sistema degradado com os principais componentes. As linhas representam as interações e as setas representam o sentido das interações entre duas variáveis (e.g. água e solo), e podem indicar se o efeito é no mesmo sentido ou em sentido oposto. Assim, por exemplo, mais água escoando pela superfície, pode representar mais erosão no subsistema solo. Maior cobertura vegetal significa maior amenização ambiental microclimática devido a menor radiação solar que resulta em temperaturas do ambiente e do solo menor e maior umidade relativa do ar. As rugosidades como variações do relevo podem significar mais água, sedimentos (solo) e propágulos retidos no sistema degradado. A água afeta o microclima pela amenização de suas variáveis, temperatura e umidade, entre outros.

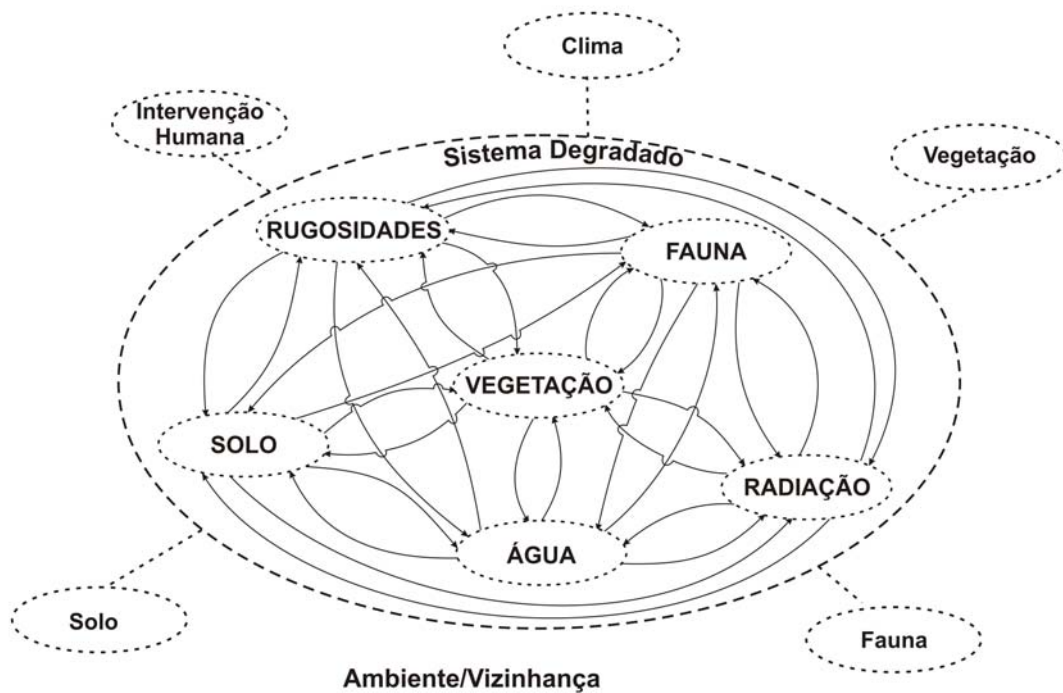


Figura 10 – Diagrama de influência simplificado identificando os principais componentes (elementos) de um ecossistema para recuperação de áreas degradadas. As linhas representam as interações entre os componentes e as setas indicam o sentido das interações entre as variáveis

Fonte: O autor (2007).

5.5.2 Fatores determinantes na formação dos solos e dos ecossistemas

A análise dos fundamentos de pedologia e geologia no processo de recuperação de áreas degradadas deve considerar que a meta primordial de qualquer estratégia de recuperação ambiental é interferir em um ou mais fatores de formação do solo e acelerar sua gênese, estabelecendo condições mínimas para reduzir o processo erosivo e estabelecer o horizonte “A” (ABRAHÃO; MELLO, 1998).

Zimmermann e Trebien (2001) registram que a incorporação de matéria orgânica para acelerar a formação do horizonte “A”, em substratos de áreas mineradas, o contexto topográfico (relevo) e microclimático e a infiltração de água constituem fatores relevantes na formação e recuperação de solos degradados a partir de substratos de áreas mineradas.

Para Jenny (1994 *apud* ABRAHÃO; MELLO, 1998) os fatores determinantes na formação dos solos são cinco: o clima, os organismos, o material de origem, o tempo, o relevo. Os fatores ativos seriam aqueles que contribuem com matéria e energia para o sistema, como o clima e os organismos. A manipulação dos organismos e suas associações tem sido

fator fundamental para aumentar a atividade biótica, propiciando o estabelecimento do horizonte “A” do solo. O clima interfere com seus fatores água, luz e calor. A manipulação de influências locais como inclinação de taludes determina condições específicas de microclima afetando a taxa de infiltração, de evaporação, de erosão e o ângulo de incidência da radiação solar, que pode minimizar os danos causados pelo ressecamento do solo nos períodos mais críticos.

Os fatores passivos seriam aqueles que não adicionam nem exportam matéria e energia: material de origem (rocha) e tempo. No processo natural a pedogênese é muito lenta. Em recuperação ambiental o estágio de maturação relativa deve ser acelerado com recursos e medidas tais como adubação, irrigação ou drenagem, até que a sucessão biológica e a interação com os outros fatores leve a um equilíbrio dinâmico do meio ambiente (JENNY, 1974 *apud* ABRAHÃO; MELLO, 1998).

O relevo é um fator controlador sobre o fluxo de materiais na superfície (erosão) e em profundidade (infiltração, lixiviação e translocação). Controla ainda a intensidade da radiação solar em função do ângulo e da orientação da encosta.

A estrutura do solo pode ser definida como “o arranjo dos pequenos, médios e grandes poros do solo num modelo estrutural”. A estrutura do solo tem relação direta com a movimentação de água e ar no solo por isso, é uma característica de grande valor agrônômico. A estrutura do solo influencia o desenvolvimento das plantas de vários modos, seja regulando a aeração (circulação do ar), suprimindo água (armazenando e circulando), disponibilizando nutrientes, condicionando a sua temperatura, limitando a penetração das raízes e a atividade da micro e macrobióta (KOHNKE, 1968).

A transformação de solos degradados em recuperados devem incluir técnicas que melhorem a sua estrutura e acelere o desenvolvimento do horizonte “A”. Os fatores determinantes na recuperação dos solos são: microclima, organismos, relevo, tempo e a intervenção humana (KOHNKE, 1968; JORGE, 1986; BRADY, 1989; ABRAHÃO; MELLO, 1998). Na Figura 11 estão representados os fatores determinantes na recuperação dos solos e a relação das propriedades físicas que necessitam melhorias para a sua recuperação ambiental.

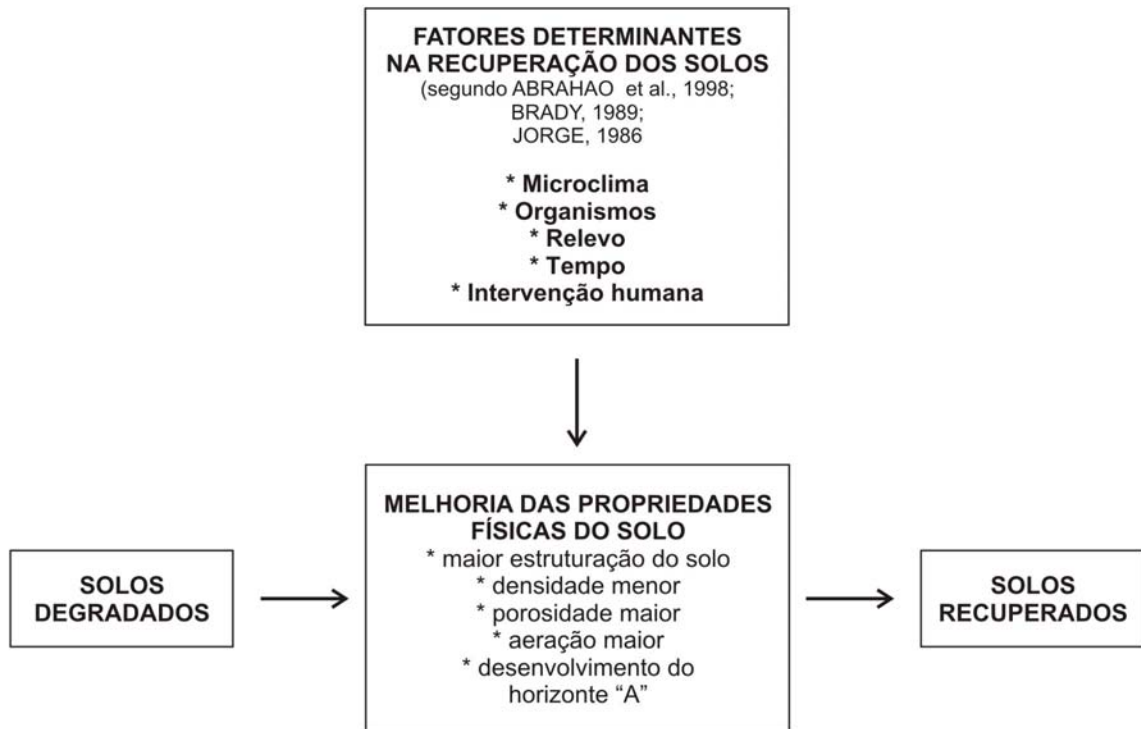


Figura 11 – Fatores determinantes na recuperação dos solos e melhorias físicas esperadas na sua recuperação

Fonte: O autor (2007).

5.5.3 Ar, umidade e temperatura do solo e seu efeito no crescimento vegetal

A temperatura do solo está intimamente relacionada com a umidade e o ar do solo e exerce forte influência tanto sobre os microorganismos como sobre as plantas. A aeração dos solos pode se tornar crítica com excesso de umidade deixando a permuta de gases insuficiente. Os solos saturados, por falta de drenagem e quando falta de macroporos, podem não dispor de aeração adequada. A permuta dos gases entre a atmosfera e o solo, chamada de intermutabilidade dos gases, é importante para o desenvolvimento das plantas e depende muito da temperatura, resíduos orgânicos e umidade do solo (BRADY, 1989).

Em condições de aeração deficiente, tanto os microorganismos como as plantas sofrem porque são incapazes de desenvolver seu metabolismo adequadamente, salvo os organismos anaeróbicos. Uma das conseqüências da aeração deficiente é a inibição dos processos microbiológicos que resultam na diminuição da intensidade da oxidação da matéria orgânica. Entre os vegetais superiores, em condições de aeração deficiente há uma restrição no crescimento, notadamente do sistema radicular; diminuição na absorção de água e dos nutrientes; e a formação de compostos inorgânicos tóxicos para o crescimento dos vegetais. As medidas que incrementam a aeração são destinadas a remover o excesso de umidade

(BRADY, 1989).

A temperatura afeta também a produção vegetal acelerando o metabolismo das plantas, aumentando a fotossíntese, o crescimento radicular e o gasto de água, desde que as condições sejam favoráveis. No entanto, há que se ter um equilíbrio entre a fotossíntese e a respiração. Em pesquisas de recuperação ambiental de áreas degradadas por mineração de argila, Aumond (2003) constatou que no preparo do terreno para o reafeiçoamento topográfico das cavas, a construção de superfícies irregulares com rugosidades, tem importante papel no controle da água e na temperatura do solo.

Aumond (2003, p. 48) sugere:

[...] a temperatura é um fator limitante nos processos fisiológicos e na própria realização da fotossíntese, porque pode acelerar ou inibir as reações metabólicas. Nas superfícies irregulares, o gradiente térmico é reduzido devido ao menor tempo de exposição direta ao espectro eletromagnético por unidade de área e devido ao processo de difusão da luz, mantendo-o numa faixa mais constante e propício ao metabolismo das plantas. O calor é fator relevante do ponto de vista ecológico no processo de recuperação ambiental de áreas degradadas e o aquecimento do solo, no caso das superfícies irregulares, é minimizado. O efeito benéfico da temperatura é resultado da amenização do superaquecimento do solo e do ar e do menor tempo de exposição à radiação solar por unidade de área.

De acordo com Brady (1989) os solos com drenagem deficiente possuem elevado calor específico e grande quantidade de energia radiante deverá ser absorvida para elevar a sua temperatura. Resulta daí a importância do manuseio da água para exercer a influência na temperatura dos solos e conseqüentemente nos processos biológicos do solo.

Assim, os fatores mais relevantes no desenvolvimento das plantas são: a temperatura do solo (temperatura mais amenas), a presença de rugosidades no terreno, uma boa drenagem, o fluxo de massa (água, nutrientes) no solo e uma elevada porosidade (BRADY, 1989; VIVAN, 1998; AUMOND, 2003). Esses fatores facilitam o crescimento das raízes, evitam a formação de compostos tóxicos, facilitam a oxidação da matéria orgânica, melhoram a absorção de água e nutrientes pelas plantas, aumentam o metabolismo dos microorganismos e estimulam a realização da fotossíntese. Na Figura 12 estão representados esquematicamente os efeitos positivos e negativos provocados pelas propriedades do solo segundo Brady (1989).

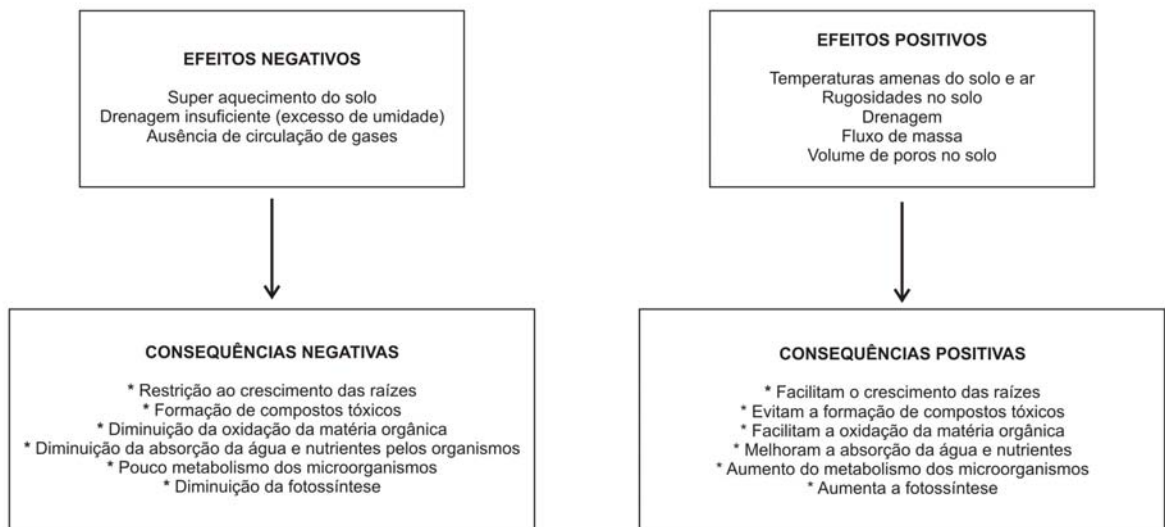


Figura 12 – Representação esquemática dos efeitos positivos e negativos sobre a vegetação provocados pelas propriedades do solo segundo Brady (1989)

Fonte: O autor (2007).

5.5.4 A fotossíntese e os três parâmetros ecológicos: radiação-água-nutrientes

De acordo com Vivan (1998) a compreensão dos processos naturais só é possível com a análise integrada das interações ambientais dos três parâmetros críticos do processo evolutivo vital: disponibilidade de água, de nutrientes e temperatura.

O comportamento da energia nos ecossistemas pode ser chamado de fluxo de energia, em função das transformações energéticas seguirem um sentido único, em contraste com o comportamento cíclico dos materiais que é denominado ciclo biogeoquímico (ODUM, 1988).

As variações do relevo influenciam as interações entre a radiação solar, a umidade e os nutrientes, criando oportunidades diferenciadas para as espécies. A análise das formas de relevo e das comunidades associadas permite fazer associações e identificação de indicadores biológicos que seriam as formações vegetais comuns a determinados padrões de umidade, radiação e nutrientes. A intensidade de radiação e o ângulo de incidência da radiação solar constituem elementos críticos para os vegetais nos trópicos. O conhecimento das variações locais no padrão da distribuição do solo é importante, porque refletem as interações do solo-fauna-vegetação (VIVAN, 1998).

Os ecólogos concordam que os ecossistemas respondem às variáveis externas, particularmente à temperatura, à iluminação e à precipitação. A luz é a fonte primária de energia para o ecossistema. O ecossistema é uma máquina termodinâmica que dissipa energia

(RICKLEFS, 1996). Este aspecto é relevante em recuperação de áreas degradadas, porque o feixe de luz, ao refletir numa superfície plana e regular, sofrerá uma reflexão, retornando ao meio, e numa superfície irregular a luz sofrerá o fenômeno da difusão. Na análise dos ecossistemas degradados e sua recuperação ambiental, Aumond (2003, p. 48) considera:

[...] numa superfície irregular, rugosa, preparada adequadamente, os raios luminosos sofrerão uma reflexão difusa e diferenciada pela manhã e pela tarde, diminuindo, em cada ponto da superfície, o tempo de exposição, e o nível de intensidade luminosa acima do ponto de saturação. A produção primária (fotossíntese) requer geralmente uma condição de luz pouco intensa. As variações diárias da intensidade da luz, na área com rugosidades, serão minimizadas, aumentando no decorrer do dia o tempo de exposição dos pigmentos das plantas naquela faixa de intensidade de luz entre o ponto de compensação e o ponto de saturação; estimulando, portanto, um aumento diário de captura da energia luminosa, utilizada na realização da fotossíntese.

Os organismos nos ecossistemas recebem constantemente radiação solar e radiação térmica das superfícies próximas. Os dois contribuem para as condições ambientais (temperatura, evaporação da água, movimento de ar e água), no entanto, apenas uma pequena fração da radiação solar é convertida pela fotossíntese em energia para os ecossistemas. Em baixos níveis de luz, a taxa de fotossíntese varia na proporção direta da intensidade luminosa. Acima desse nível a luz brilhante satura os pigmentos fotossintéticos, e a taxa da fotossíntese aumenta mais lentamente ou se estabiliza (RICKLEFS, 1996).

Na Figura 13 estão integrados os fatores externos (RICKLEFS, 1996) e o fator interno, representado pelo relevo, e as interações mútuas que ocorrem num ecossistema evidenciando a importância do relevo como fator na recuperação de áreas degradadas (VIVAN, 1998).

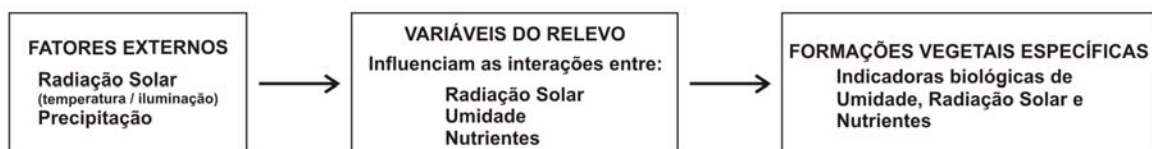


Figura 13 – Representação esquemática valorizando o relevo como fator determinante de comunidades vegetais específicas (indicadores biológicos)

Fonte: O autor (2007).

5.5.5 Água e vegetação

A manutenção de condições de umidade apropriada no solo é fundamental para o crescimento das plantas. “Em ilhas’ de floresta no meio de pastagens no trópico úmido a

degradação é mais rápida, assim como são mais curtos e freqüentes os ciclos e a dinâmica de nutrientes [...]” (VIVAN, 1998, p. 73). Segundo esse autor a umidade tem um importante papel acelerador na decomposição do substrato rochoso e na liberação dos sais e nutrientes necessários às plantas. Os fluxos da água conduzem os nutrientes e sais minerais disponibilizando-os ao sistema radicular das plantas.

Do ponto de vista das relações entre umidade e energia-solo, a capacidade máxima de retenção de umidade do solo ou umidade de saturação é atingida quando todos os poros da fração superior estão cheios de água, e o solo encontra-se saturado na sua capacidade máxima de retenção (BRADY, 1989).

As perdas de vapor de água do solo ocorrem por evaporação direta na superfície do terreno e por transpiração pelas superfícies foliares da água absorvida pelas plantas. A perda de água destes dois processos denomina-se evapotranspiração. O ritmo de perda de água é basicamente determinado pelas diferenças no potencial de umidade (gradiente de pressão de vapor) e a pressão atmosférica que depende de inúmeros fatores climáticos e do solo, incluindo energia radiante, pressão do vapor atmosférico, temperatura, vento, suprimento de umidade do solo (BRADY, 1989).

Ao comentar estes fatores, esse autor chama atenção que o sol é a fonte primária da energia e se houver fartura de umidade no solo existirá uma estreita correlação da evaporação com a absorção da energia radiante. A pressão do vapor atmosférico auxilia no controle da evaporação dos solos e das plantas. A evaporação é influenciada também pela temperatura, mas esta exerce influência diferenciada sobre a pressão do vapor atmosférico e da superfície das folhas e do solo. O fato de os vegetais e o solo ficarem mais quentes em dias claros e brilhantes do que a atmosfera gera um gradiente de pressão de vapor e conseqüentemente a evaporação se processa mais rapidamente, exercendo forte controle na evapotranspiração.

Das observações de Brady (1989) e Vivan (1998) fica evidente a importância da presença da água e características do solo na recuperação ambiental e a validade de rugosidades no terreno para retenção e disponibilização da água aos vegetais, conforme recomendações do IBAMA (1990) e Aumond (2003).

Em recuperação de áreas degradadas pela mineração, a disponibilidade de água no solo é importante na medida em que freqüentemente o substrato é constituído por fragmentos de rocha (rejeitos e estéril) e a água acelera a decomposição do substrato, liberando os sais e nutrientes. A profundidade de esgotamento da água do solo, por evapotranspiração e por capilaridade é determinante para a evolução do perfil do solo na recuperação dos solos degradados pela mineração.

5.5.6 Infiltração, encrostamento e erosão

A capacidade de infiltração de um solo é definida como sendo a taxa máxima pela qual a água pode ser absorvida pelo solo (JORGE; UEHARA, 1998). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985) os fatores que intervêm na infiltração da água no solo dependem, em maior ou menor grau das características do solo, tipo de cobertura do solo, tipo e manejo do solo, selamento superficial (encrostamento) e características da água. Esse movimento, de infiltração da água através dos grandes poros, em solo saturado, é promovido pela gravidade e em um solo não saturado é principalmente impulsionado pela força de capilaridade.

O selamento do solo (encrostamento) pode decorrer do impacto das gotas da chuva na sua superfície, que através da destruição dos agregados favorece a formação de placa endurecida na superfície do solo dificultando a emergência de plântulas e a infiltração da água da chuva o que favorece o escoamento superficial e a erosão (JORGE, 1986).

O preparo do terreno exerce um efeito temporário ao deixar o solo solto, aumentando a infiltração. No entanto, se a superfície do solo não estiver protegida por vegetação ou cobertura morta contra ação da chuva e do vento, haverá a consolidação da superfície com conseqüente redução da velocidade de infiltração (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

A infiltração da água no solo é um importante indicador de estruturação, agregação e transformação do material litólico (substrato) e melhoria na oferta de atributos ambientais, proporcionando a colonização espontânea de espécies vegetais, por isso, é importante na reconstrução dos ecossistemas (RODRIGUES; SILVA; VALCARCEL, 2002). De acordo com esses autores, há uma relação direta entre o aumento do volume da água infiltrada no solo e a regeneração ambiental dos ecossistemas, tornando-se a condutividade hidráulica, um fator importante nos processos de recuperação ambiental.

Na Figura 14 estão resumidos os principais fatores que afetam a infiltração da água que por sua vez estão relacionadas à regeneração dos solos e a reconstrução dos ecossistemas.

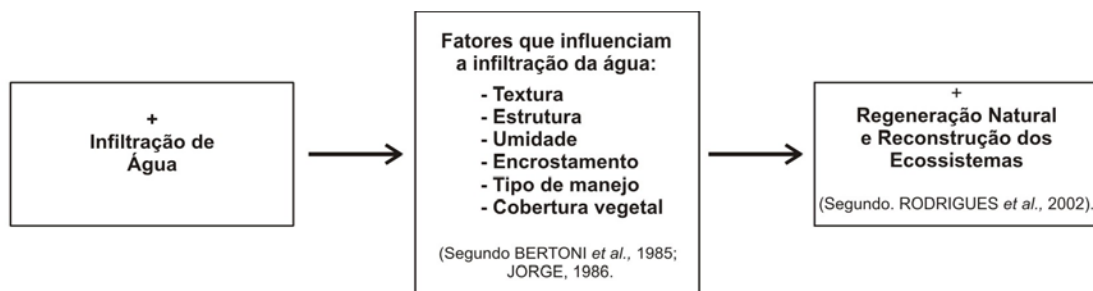


Figura 14 – Fatores que influenciam na infiltração da água

Fonte: O autor (2007).

Erosão constitui o desgaste e o arrastamento da terra pelos agentes geológicos tais como água corrente, vento, gelo e processos gravitacionais (ACIESP, 1987).

A erosão hídrica resulta do impacto das gotas da chuva e o escoamento superficial da água sobre o solo e envolve a desagregação das partículas do solo, o transporte e sua deposição (CASSOL; LIMA, 2003).

Na análise dos mecanismos de erosão hídrica consideram-se como fontes de energia a ação das gotas de chuva e a atuação dos processos hidrológicos de superfície e subsuperfície e como contraponto considera-se a resistência que oferecem os solos e a vegetação à atuação destes processos erosivos. Assim, erosão depende da energia das gotas da chuva e os fluxos de superfície e subsuperfície, assim como da susceptibilidade dos materiais a serem erodidos.

Os solos apresentam diferentes susceptibilidades a erosão em função das suas características como textura, estrutura, consistência, conteúdo de matéria orgânica, desenvolvimento do perfil de solo entre outros. A textura é uma característica importante devido à estreita relação com as propriedades de coesão, estabilidade dos agregados e permeabilidade. As frações areia fina e silte favorecem uma maior erodibilidade, enquanto elevados percentuais de areia grossa, permitem maior permeabilidade e por isso apresentam menor erodibilidade. Os solos com percentuais maiores de argila apresentam boa coesão e uma elevada estabilidade estrutural e geralmente apresentam menor erodibilidade (MAFRA, 1999).

A energia cinética da água determina a erosividade da chuva, que é a habilidade da chuva de causar erosão. À medida que os agregados do solo se rompem, e as partículas de diferentes tamanhos vão se depositando, se formam crostas após o secamento da superfície que provocam o selamento do solo e diminuição das taxas de infiltração e aumento do escoamento superficial, com conseqüente aumento da erosão. Geralmente o selamento superficial do solo provoca a formação de diminutas poças na superfície do terreno que resulta, na seqüência, no início do escoamento superficial (*runoff*). As irregularidades da superfície do terreno podem retardar o escoamento superficial pelo armazenamento da água, no entanto, ao romper as irregularidades o escoamento superficial pode dar início a processos erosivos rápidos com formação de ravinas. As microtopografias do solo têm papel importante na formação dos poços, mas estas depressões na superfície tanto podem atuar no sentido de retardar, como acelerar os processos erosivos. A água da chuva pode ser retida nas pequenas depressões do solo ou se infiltrar, contribuindo para o aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. Este processo vai depender das propriedades do solo,

características da chuva, tipo de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características da encosta e microtopografia (rugosidades) da superfície do terreno (GUERRA, 1999).

De acordo com Aumond (2003), ao irregularizar a superfície do terreno com rugosidades, em forma de concavidades e convexidades, aumenta-se a heterogeneidade física e a superfície total da área e se diminui a erosão (Figura 15 “a” e “b”).

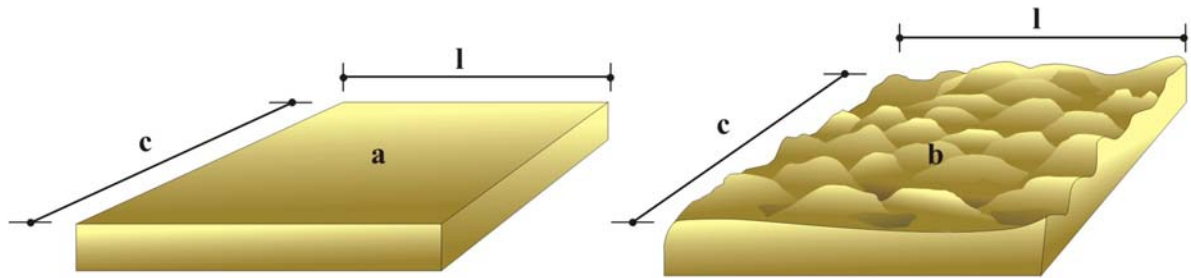


Figura 15 – Área regular “a” cuja superfície total é igual ao produto dos lados da poligonal (comprimento (c) x largura (l)) e na área irregularizada “b” a superfície total é maior devido heterogeneidade provocada pelas rugosidades

Fonte: Aumond (2003).

Desta forma, a irregularização do terreno, além de controlar os fluxos de materiais, cria gradientes de temperatura, luz, e umidade que não ocorrem na área regular. Ao aumentar a circulação interna de matéria (solo, água e nutrientes) pela criação de gradientes, haverá uma dissipação da energia com conseqüente internalização de matéria no próprio sistema. Parte da energia da água, por exemplo, será gasta na erosão e sedimentação, dissipando a energia internamente no sistema. Essa internalização no sistema resulta num enriquecimento ecológico e variabilidade ambiental. A retenção da água, sedimentos, nutrientes, sementes e propágulos dentro das rugosidades, além de conservar a matéria e dissipar energia, cria maior variabilidade ambiental. Esta prática reduz o escoamento superficial, aumenta a infiltração e a conservação da água e minimiza os processos erosivos, facilitando o processo de recuperação ambiental (AUMOND, 2003).

Na Figura 16, se observa, esquematicamente como numa superfície rugosa do terreno, facilita a erosão nas superfícies convexas e conseqüente deposição da matéria (água e sedimentos) nas superfícies côncavas. As depressões côncavas funcionam como atratores, dissipando a energia da água internamente no sistema (AUMOND, 2003, p. 47).

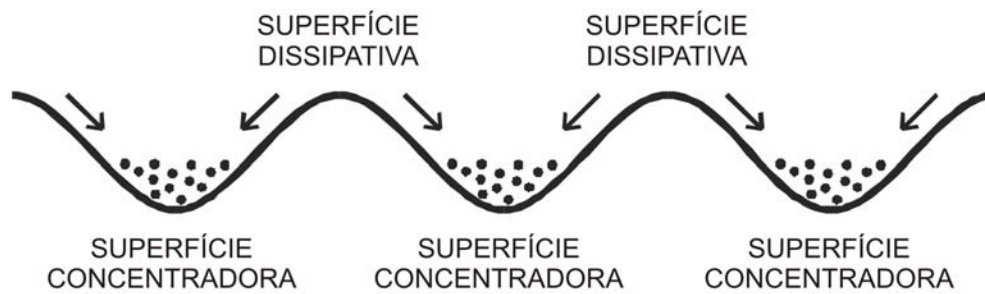


Figura 16 – A associação de superfícies côncavas (concentradoras) com superfícies convexas (dissipadoras) resultando na dissipação da energia da água ao depositar os sedimentos nas concavidades

Fonte: Aumond (2003).

5.5.7 Ciclagem biogeoquímica nos ecossistemas

Os elementos químicos e todos os elementos necessários ao protoplasma tendem circular na atmosfera e nos organismos formando círculos chamados ciclos biogeoquímicos ou de ciclagem de nutrientes. Em ecologia, é recomendável estudar os organismos, suas relações ambientais, e o meio abiótico. O sistema abiótico e o sistema biótico evoluem em conjunto, influenciando um ao outro. O comportamento de energia nos ecossistemas pode ser chamado de fluxo de energia, em função do fato que as transformações energéticas seguirem um sentido único, em contraste com o comportamento cíclico dos materiais. Na natureza, os elementos químicos não se distribuem homoganeamente nos ecossistemas. Na Figura 17 (ODUM, 1988) o *pool* reservatório é a parcela que fica química e fisicamente afastada dos organismos (*pool* de nutrientes), enquanto o *pool* ou parcela de ciclagem (“*pool* permutável” ou “disponível”) é identificado pelo círculo sombreado que passa dos autótrofos para os heterótrofos, e, destes, novamente para os autótrofos. Na referida Figura, um ciclo biogeoquímico está superposto a um diagrama simplificado de fluxo energético, a fim de evidenciar como o fluxo unidirecional da energia movimenta o ciclo da matéria. A produção primária líquida (P^L) pode ser consumida dentro do sistema por heterótrofos ou pode ser exportada para fora do sistema. O objetivo da conservação dos recursos da natureza é o de tornar mais cíclicos os processos acíclicos. Assim, por exemplo, a reciclagem da água é importante, porque se o ciclo hidrológico puder ser mantido existirá uma melhor chance de se controlar os fluxos de nutrientes que se movimentam junto com a água (ODUM, 1988).

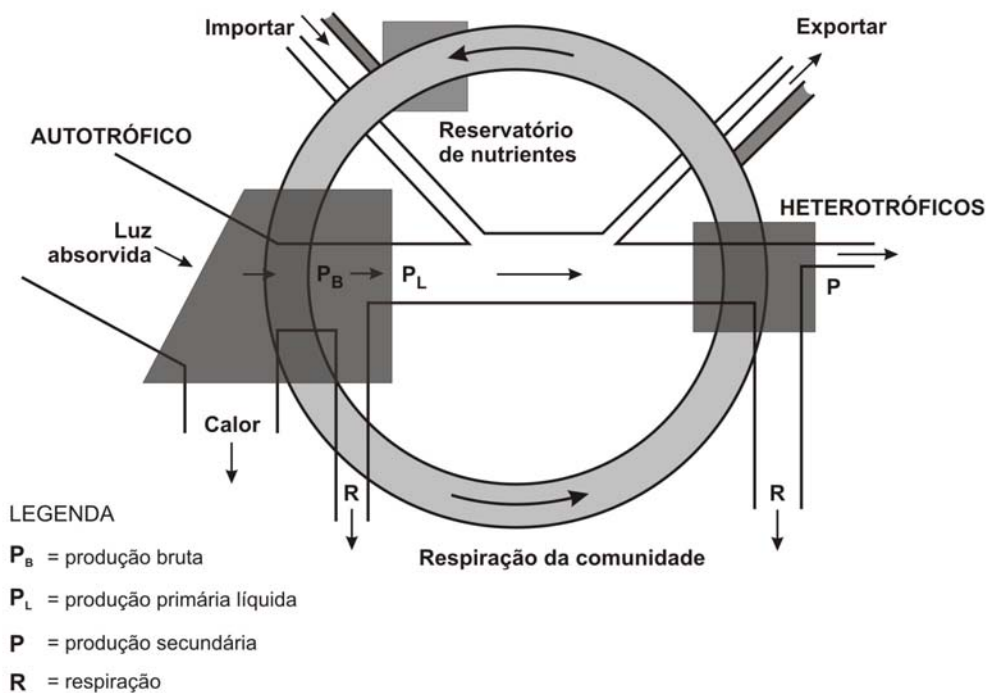


Figura 17 – Componentes de um ecossistema, mostrando o ciclo biogeoquímico (círculo sombreado) superposto ao diagrama simplificado de fluxo energético

Fonte: Odum (1988, p. 112).

Os fluxos dos nutrientes têm duas categorias relacionadas entre si: um fluxo orgânico (originado da biomassa) e um fluxo mineral (decorrente dos agentes físicos). O atendimento das necessidades do fluxo mineral, isto é, por via não orgânica, nem sempre é possível em função do grau de intemperização dos solos, notadamente nos trópicos úmidos. Entre os nutrientes minerais que são liberados da rocha matriz pela intemperização, estão os íons mais solúveis que são lixiviados, ficando apenas os menos solúveis ou mais fortemente adsorvidos no complexo coloidal (KHATOUNIAN, 1999).

De acordo com Zimmermann e Trebien (2001) em áreas mineradas de argila, não existem limitações de toxicidade do substrato, e a falta de nutrientes ocasionada pela pobreza do substrato é lentamente suprida através do aumento do teor de matéria orgânica do solo e do intemperismo do material que compõem o substrato. No entanto, o teor de matéria orgânica, e as demais propriedades físicas do solo (densidade do solo, infiltração de água, disponibilidade de nutrientes) em substratos de mineração não são estabelecidos, no espaço de tempo atualmente empregado na recuperação.

Em solos com rocha no perfil, as raízes podem contribuir para o suprimento de nutrientes e minimização das saídas de nutrientes. A densidade da trama radicular e sua profundidade, bem como a ação dos organismos, são fatores essenciais para incrementar a

disponibilidades de nutrientes, a partir da decomposição do substrato rochoso. Muitos organismos produzem substâncias que aceleram a decomposição das rochas a partir de exsudatos radiculares. Algumas plantas, sob estresse, desenvolveram evolutivamente a capacidade de extrair nutrientes onde outras plantas não conseguem (KHATOUNIAN, 1999).

O processo de transformação da biomassa até chegar aos componentes minerais finais, passa por várias etapas mais ou menos longas. Os ambientes tropicais quentes e úmidos favorecem o ataque dos microrganismos decompositores acelerando a degradação da biomassa. O caminho mais longo passa por vários níveis de consumidores, conseqüentemente aumentando a biodiversidade (KHATOUNIAN, 1999). O ataque inicia-se pelos compostos químicos mais fáceis de serem degradados, seguindo-se no final da cadeia alimentar, pelos compostos de maior estabilidade química. Nessa seqüência vai se reduzindo o tamanho das partículas e alterando a sua composição química. Inicia-se com os carboidratos mais solúveis, depois vêm os compostos de celulose e finalmente chega à vez dos derivados de lignina. A parte mais fina da serapilheira é incorporada ao solo pela ação dos organismos designados de mesofauna. Incorporado ao solo, a fração mais fina é mais lentamente atacada pelos microrganismos devido a maior concentração de lignina, formando a fração húmica, última etapa, antes da reversão da matéria na forma de gás carbônico, água e nutrientes minerais. Enquanto houver biomassa, a cadeia de degradação é sustentada e se mantém homeostaticamente. Ao diminuir a biomassa, parte dos organismos do solo (mesofauna e microorganismos) perece diminuindo a produtividade, em função da interrupção da ciclagem de nutrientes (KHATOUNIAN, 1999). Por isso a presença de serapilheira é fator importante na ciclagem e quantidade de nutrientes que retornam ao solo (BARNES *et al.*, 1997).

5.6 ESTRATÉGIAS, TÉCNICAS E INDICADORES DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Nesta seção são apresentadas as principais estratégias, técnicas e indicadores de recuperação ambiental recomendadas pelos autores (BARTH, 1989; IBAMA, 1990; KAGEYAMA; REIS; CARPANEZZI, 1992; GRIFFITH; DIAS; JUCKSCH, 1994; KAGEYAMA *et al.*, 1994; RODRIGUES; GANDOLFI, 1996; GRIME, 1997; NAEEM; LI, 1997; CAMPELLO, 1998; RODRIGUES; GANDOLFI, 1998; REIS; ZAMBONI; NAKASONO, 1999; GRIFFITH; DIAS; MARCO JÚNIOR, 2000; KAGEYAMA; GANDARA, 2000). As estratégias de recuperação de áreas degradadas no território brasileiro, com uso de espécies vegetais exóticas e nativas, ocorreram no Brasil em três modalidades com abordagens distintas. A estratégia do “tapete verde” (plantio homogêneo), como a

primeira modalidade, resultava numa rápida cobertura vegetal, porém pobre em diversidade. A segunda modalidade, que utilizava a estratégia mais exigente da sucessão vegetal, resultava em elevada diversidade, porém com estabelecimento vegetal muito lento, permitindo, por isso, a erosão do solo, e finalmente, uma terceira modalidade, que conjugava as potencialidades das duas abordagens, com a formação de ilhas de diversidade em meio ao “tapete verde”. A conjugação das duas abordagens anteriores na terceira modalidade traz a vantagem de acelerar o processo da sucessão ecológica, minimizar os processos erosivos, garantir uma grande diversidade e auto-sustentabilidade do sistema (GRIFFITH; DIAS; MARCO JÚNIOR, 2000).

Uma análise mais detalhada da estratégia de uso da maior diversidade vegetal versus a estratégia de priorização e valorização das características funcionais das espécies vegetais dominantes na recuperação dos ecossistemas e na produção primária, tratado por Naeem e Li (1997) e Grime (1997) respectivamente, evidenciam a complexidade do fenômeno da produção primária da biomassa na recuperação dos ecossistemas.

Grime (1997) defende as características funcionais das espécies vegetais dominantes como o principal e decisivo fator na recuperação e produção primária dos ecossistemas. Naeem e Li (1997), no entanto, defendem a diversidade vegetal como fator preponderante na produção de biomassa e recuperação dos ecossistemas. Ambos enfoques diagnosticam aspectos distintos da dinâmica sucessional e da produtividade primária na recuperação dos ecossistemas.

De acordo com Odum (1988) a estabilidade de um ecossistema relaciona-se mais intimamente com a diversidade funcional do que com a estrutural da biomassa existente. Para Vivan (1998) os ecossistemas florestais atuais são os produtos de uma complexa história geo-ecológica em que interagiram fatores ecológicos extrínsecos às espécies vegetais (clima, umidade, temperatura, luminosidade, entre outros) concomitante com fatores intrínsecos às diferentes espécies vegetais (genética, metabolismo, fisiologia vegetal entre outros).

No planejamento e monitoramento de recuperação de ecossistemas degradados, para iniciar o processo de recomposição vegetal e estabilizar processos erosivos, é necessário adotar uma abordagem analítico-interpretativa das variáveis geo-ecológicas, abrangendo toda sua dinâmica espaço-temporal. Esses estudos não devem se restringir a um inventário estático de cada um dos componentes do meio físico, e sim, deve incluir uma análise dos diversos níveis hierárquicos, a partir das relações espaço-temporais, porque elas permitem uma melhor avaliação do processo e maior eficácia nas práticas de manejo (PORTOCARRERO; ANDRADE, 2002).

No caso específico de mineração devido o grau de impacto ambiental provocado pela lavra com modificações físicas e bióticas dos ecossistemas é recomendado a regularização topográfica da superfície, a criação de terraços em camalhões, de murundus, de pequenas depressões, de sistema de drenagem, além da redução do grau de compactação do solo, com práticas mecânicas e culturais e correção da fertilidade do solo (IBAMA, 1990).

Além da escarificação do solo, a criação de superfícies ásperas, a transposição direta do solo é importante, porque minimiza as perdas nutrientes e a presença de microorganismos facilita a absorção de nutrientes pelas plantas (BARTH, 1989).

Rodrigues e Gandolfi (1996) recomendam utilizar, em projetos de recuperação ambiental de ecossistemas, indicadores de avaliação de implantação e monitoramento das fases pós-implantação. Entre os indicadores de avaliação de implantação, dois parâmetros seriam decisivos: mortalidade e controle de erosão. Para as fases pós-implantação, a avaliação e o monitoramento devem brindar o desenvolvimento das mudas, índice de cobertura dos solos, a regeneração natural, a fisionomia e a diversidade, considerados importantes instrumentos de avaliação e monitoramento em projetos de recuperação ambiental. A distribuição das espécies no campo deve ser orientada por estudos de fitossociologia e deve obedecer aos padrões de distribuição das espécies das comunidades da floresta original. Os autores propõem uma distribuição das plantas em módulos regulares que devem ser definidos previamente no projeto, obedecendo uma seqüência de espécies distribuídas espacialmente no terreno. Esta seqüência regular de plantas constituirão os módulos de distribuição na área a ser recuperada.

5.6.1 Sucessão: consórcio e auto-sustentabilidade

Inúmeros autores têm sugerido a sucessão natural (secundária) como modelo para recuperação de áreas degradadas (KAGEYAMA; REIS; CARPANEZZI, 1992; GRIFFITH; DIAS; JUCKSCH, 1994; KAGEYAMA *et al.*, 1994; CAMPELLO, 1998; RODRIGUES; GANDOLFI, 1998; REIS; ZAMBONI; NAKASONO, 1999; GRIFFITH; DIAS; MARCO JÚNIOR, 2000; KAGEYAMA; GANDARA, 2000). A sucessão secundária consiste no mecanismo pelo qual as florestas tropicais se auto-renovam, através da cicatrização em locais perturbados, como as clareiras (GOMES-POMPA, 1971).

Diferentemente da sucessão secundária, ocorrente em clareiras de floresta primária, em áreas antropicamente alteradas de grande extensão, a sucessão apresenta características distintas, principalmente quanto à origem das espécies vegetais no início do processo da

sucessão (KAGEYAMA *et al.*, 1994). Para esses autores, neste contexto podem-se encontrar dois grupos de espécies vegetais: as denominadas de pioneiras antrópicas, espécies vegetais não tipicamente pioneiras na fase da floresta primária, mas que fazem o papel de pioneiras na sucessão de áreas antrópicas; as espécies vegetais secundárias, normalmente raras na floresta primária, mas que em áreas alteradas pelas ações humanas, fazem o papel de pioneiras. Como exemplo de espécie vegetal pioneira antrópica, o autor cita, entre muitas outras, a bracatinga (*Mimosa scabrella*).

No estabelecimento de modelos de plantios mistos de espécies arbóreas nativas para recuperação ambiental, independentemente da sua origem, as espécies poderiam ser agrupadas em dois grandes grupos: as Pioneiras (ou Sombreadoras) de crescimento mais rápido e as Não Pioneiras (Sombreadas) de crescimento mais lento na fase inicial do ciclo de vida. Segundo os autores, os modelos de plantios mistos devem basicamente compatibilizar estes dois conjuntos de fornecimento e requerimento de luz. As espécies pioneiras teriam distintas capacidades de sombreamento, assim como as não pioneiras teriam diferentes graus de exigência à luz (KAGEYAMA *et al.*, 1994).

As diferenças de crescimento entre espécies secundárias e climácicas são pequenas em relação às pioneiras, e isto se deve ao fato de que as últimas requerem menores quantidades de nutrientes na fase inicial de crescimento. Fatores como micro e macronutrientes, microorganismos e características físicas e compactação do solo podem ser responsáveis pela diferença do crescimento das plantas. Estas variações do solo normalmente estão associadas a variações da topografia (DAVIDE, 1994).

A aplicação da sucessão ecológica na recuperação de florestas mistas segue basicamente o modelo natural da sucessão. Martins (2001) recomenda utilizar o maior número possível de espécies para gerar alta diversidade; consorciar espécies pioneiras de rápido crescimento junto com espécies secundárias tardias e climácicas; plantar espécies atrativas à fauna e respeitar a tolerância das espécies à umidade do solo.

A regeneração natural é um processo importante na recuperação de áreas degradadas e depende em primeiro lugar da disponibilidade de sementes, depois da possibilidade de dispersão e finalmente das condições do meio ambiente para seu estabelecimento. As comunidades vegetais naturais evoluíram ao longo dos séculos, culminando com uma associação ótima para o máximo de aproveitamento dos recursos ambientais e do meio, de forma sustentada (SEITZ, 1994).

Na escolha das espécies vegetais para recuperação ambiental desejam-se espécies com capacidade para crescer rapidamente, proteger e enriquecer o solo, abrigar e alimentar a

fauna, recompor a paisagem e restabelecer a água no solo, entre outras funções. Na região de Alto Rio Grande, em Lavras (MG), o sucesso da recuperação não dependeu apenas da escolha das espécies, mas também da eficiência da regeneração natural no processo de sucessão, e isto depende de estudos da composição florística e da ecologia das comunidades arbóreas remanescentes (DAVIDE, 1994).

Em Porto Trombetas (PA), a sucessão vegetal com uso de espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio propiciou maior riqueza de espécies nativas oriundas da regeneração natural e maior biomassa vegetal. Nos estratos arbóreos superiores, a oito metros de altura, poucas espécies do plantio original ainda sobreviviam, evidenciando que elas já tinham cumprido seu papel de recuperar a resiliência, permitindo à natureza controlar o processo de sucessão ecológica. No caso de solos alterados por mineração, o grau de intervenção técnica necessário para sua recuperação é maior e deve incluir escarificação mecânica do solo e o uso de espécies leguminosas arbóreas adequadas ao substrato (CAMPELLO, 1998).

Quando se fala em sucessão de espécies, na realidade se está falando em sucessão de consórcios de espécies dominantes que inclui um consórcio de seres vivos, do nível macro ao micro. Para Vivan (1998, p. 72): “O grau de inter-complementaridade e sinergismo é tão grande entre as formas de vida e o meio, que o estudo das partes só pode ser feito após o entendimento do sistema como um todo.” As interações ambientais entre nutrientes, temperatura e umidade se refletem pela forma da vegetação e dos consórcios criados para otimizar os recursos. Assim, por exemplo, a arquitetura das espécies envolvidas num consórcio reflete sua função ecofisiológica, isto é, como elas contribuem para a sucessão vegetal.

Altas densidades de sementes e plântulas no processo de regeneração natural são estratégias dos consórcios de espécies, de modo a otimizar a ocupação do espaço e o desempenho futuro. Para Vivan (1998, p. 76):

Afinal, numa simples conta de probabilidades, é mais fácil que o lugar adequado de uma planta seja encontrado pela árvore-matriz e seus agentes dispersores, do que através da mão do diligente agricultor que a planta em covas num espaçamento definitivo e em linha.

A observação da dinâmica das comunidades confirma que as espécies se substituem ao longo do tempo obedecendo às forças da natureza de uma forma heterogênea e dinâmica (GRIFFITH; DIAS; JUCKSCH, 1994) seguindo a seqüência típica da ecologia de cada região.

A sucessão de espécies é um processo crescente e dinâmico, onde a transferência de energia se dá das formas mais simples para outras mais complexas, num mecanismo de auto-regulação, de forma a manter o ecossistema saudável. Os distúrbios nos ecossistemas provocam um retorno às formas simples e a sucessão secundária leva a uma otimização dos recursos, complexificando, conservando a vida, incorporando nutrientes aos seres vivos de fazendo aumentar a energia potencial. O crescimento dos seres vivos e a própria sucessão não estão baseados na maximização da utilização dos recursos naturais (minerais, gases, solo, água...), mas na sua otimização ao longo do processo. O sucesso desta estratégia é resultado de uma co-evolução ao longo de bilhões de anos entre os seres vivos e o meio físico, e o sucesso destas interações está refletido nas formas e arquitetura de plantas e animais e seus consórcios que compõem os vários estágios da regeneração natural de um ecossistema (VIVAN, 1998).

5.6.2 Nichos, ilhas de vegetação, nucleação e postos avançados como estratégia de recuperação

O conceito de nicho ecológico de um organismo inclui o espaço físico ocupado por este organismo e o seu papel funcional na comunidade, sua posição em gradientes ambientais de temperatura, umidade, pH, solo e outras condições de existência. O nicho ecológico inclui o lugar onde vive o organismo e a totalidade das suas necessidades ambientais (ODUM, 1988).

Existem nichos de curta transitoriedade, que por razões da variação da radiação, matéria orgânica, umidade e ventos apresentam ciclos curtos. Os nichos, como lugares onde as espécies fazem o “refinamento” de sua estratégia na ocupação de espaços para uso dos recursos, podem ser muito efêmeros e especializados. As depressões do terreno, ou afloramentos de rochas que retêm umidade e matéria orgânica e abrigam sementes são nichos, efêmeros e especializados, que funcionam como “postos avançados”, instrumentos importantes na recolonização de áreas degradadas, porque podem abrigar espécies mais avançadas da sucessão (VIVAN, 1998).

Estudos da composição florística e da ecologia das comunidades arbóreas remanescentes são importantes na recuperação de áreas degradadas. As características do solo associadas à topografia, tais como teor de umidade, a química e física do solo e a competição com ervas daninhas são os fatores que mais têm influenciado no crescimento das espécies (DAVIDE, 1994). O ambiente é tão importante quanto a espécie e a interação entre ambos é

que deve ser considerada. Pesquisas desse autor confirmam que não foram diferenças químicas nos teores do fósforo e outros nutrientes do solo, mas foram outros fatores como microorganismos, micronutrientes e características físicas do solo os responsáveis por grandes diferenças no crescimento de espécies pioneiras testadas em recuperação de matas ciliares na região de Lavras no sul de Minas Gerais.

De acordo com Yarranton e Morrison (1974 *apud* REIS *et al.*, 2003), nucleação é a capacidade de uma espécie de propiciar uma melhora significativa nas qualidades ambientais, permitindo aumento na probabilidade de ocupação por outras espécies. A nucleação é um princípio sucessional na revegetação de áreas em formação e representa uma ferramenta eficiente no restabelecimento das comunidades. Entre as técnicas de nucleação estão a transposição de solo, semeadura direta e hidrosemeadura, poleiros artificiais, transposição de galharia, plantio de mudas em ilhas de alta diversidade e coleta de sementes com manutenção da variabilidade genética. A atividade de restauração, baseado na nucleação, facilita o processo sucessional, e será tanto mais eficientes quantos forem numerosos e diversificados os núcleos (REIS *et al.*, 2003).

As técnicas nucleadoras promovem um aumento de colonização das espécies resultando em uma maior capacidade de restauração da área degradada. As técnicas nucleadoras aceleram o resgate da estrutura das comunidades, ajudam na reconstituição da funcionalidade dos ecossistemas garantindo uma biodiversidade elevada e uma complexidade de interações (TRES *et al.*, 2005).

Para Guedes *et al.* (1997), o uso de ilhas de vegetação para favorecimento da sucessão vegetal justifica-se pela economia em função da redução da implantação de vegetação, quando comparado com técnicas tradicionais de recobrimento total e pelo ingresso de propágulos de plantas nativas. No entanto, segundo esses autores surgem algumas dúvidas: Qual a distância ideal entre as ilhas? Qual devem ser o tamanho e a forma das ilhas? Como favorecer o desenvolvimento dos propágulos que ingressam? Quais as espécies a plantar e em que espaçamento? O uso de ilhas de vegetação é importante, no entanto, é necessário acompanhar ao longo do tempo toda a evolução da sucessão desencadeada, para verificar se estas ilhas realmente se expandem, trazem resiliência e promovem a sucessão, contribuindo assim para a estabilidade e sustentabilidade do ecossistema local.

O conhecimento do histórico dos processos naturais (sucessão natural das espécies) ocorrentes nos nichos, bordas de ecossistemas e clareiras naturais é importante para o diagnóstico de uma área degradada com vistas ao manejo de espécies e definição das estratégias de regeneração (VIVAN, 1998).

O sucesso no processo de recuperação ambiental não depende apenas da escolha das espécies. Na escolha das espécies o que se busca são espécies com grande capacidade para crescer rapidamente, proteger e enriquecer o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem, restabelecer o regime de água no solo, entre outros. Na recuperação deseja-se que o conjunto de espécies utilizadas permita iniciar o restabelecimento do equilíbrio do ecossistema em curto espaço de tempo e com baixo custo (DAVIDE, 1994).

5.6.3 O uso de serapilheira, bracatinga e outras técnicas em recuperação de áreas degradadas

Inúmeros autores têm recomendado o uso de serapilheira, da bracatinga e do processo sucessional para recuperação de áreas degradadas (KAGEYAMA; REIS; CARPANEZZI, 1992; DAVIDE, 1994; SEITZ, 1994; GRIFFITH; DIAS; JUCKSCH, 1994; VIVAN, 1998; NAPPO; OLIVEIRA FILHO; MARTINS, 2000, entre muitos outros). Esses autores consideram que os processos sucessionais, descritos por Clements (1916) ainda se constituem no melhor *insight* e estratégia ecológica para ser utilizado como modelo para restauração ambiental. Neste sentido a identificação de bancos de sementes em fragmentos florestais nas proximidades da área a ser recuperada pode representar uma significativa contribuição e redução de custos em projetos de recuperação ambiental (GANDOLFI; RODRIGUES, 1996).

Mason (1980) definiu a serapilheira todo o material biogênico em vários estádios de decomposição e é constituída principalmente por folhas, caules, frutos e resíduos de animais. A serapilheira em recuperação ambiental é bastante efetiva, notadamente quando adicionada junto ao horizonte superficial, porque melhora significativamente a quantidade e diversificação da dispersão de propágulos, e porque o horizonte superficial é a camada mais fértil do solo (GRIFFITH, 1992; GISLER; MERGURO, 1993).

A transposição do solo conjuntamente com a serrapilheira acelera o processo de recuperação. A ausência do horizonte A, principalmente em áreas mineradas, pode ser contornada por meio de transposição de materiais orgânicos, simulando um horizonte superficial. O “topsoil” é a camada mais fértil do solo, onde se concentram os valores mais elevados de matéria orgânica, fauna do solo e nutrientes (GRIFFITH; DIAS; JUCKSCH, 1994).

O plantio ao acaso, também denominado de plantio misto de espécies, sem uma ordem ou arranjo pré-determinado, parte do pressuposto de que os propágulos das diversas

espécies de plantas caem, germinam e crescem ao acaso na natureza. Essa técnica de recuperação não confere importância às espécies pioneiras e climáticas, premiando sobremaneira, as espécies nobres da floresta que seriam basicamente as intermediárias da sucessão. As restrições mais relevantes dessa técnica são a demora no crescimento das plantas, menor sobrevivência das espécies exigentes de sombreamento e encarecimento da operação de recuperação (KAGEYAMA; GANDARA, 2000).

O método do plantio por sementes para a recuperação de áreas degradadas é mais adequado em áreas montanhosas, de difícil acesso e onde a intervenção no solo pode ser muito problemático e pode ser empregado quando há grande disponibilidade de sementes (KAGEYAMA; GANDARA, 2000).

O uso de gramíneas em recuperação ambiental é recomendado porque elas se estabelecem com relativa facilidade, promovem uma rápida e densa cobertura do solo adicionando matéria orgânica e acionando a ciclagem de nutrientes que resulta numa melhora da estrutura do solo atenuando os processos erosivos (ANJOS; REISSMANN, 1994).

Os poleiros artificiais com objetivo de recrutar as sementes para as áreas degradadas aceleram a sucessão vegetal sendo uma estratégia facilitadora da sucessão tornando a composição florística semelhante à das áreas adjacentes (MELO *et al.*, 2000; REIS *et al.*, 2003; CORTINES *et al.*, 2005).

A aplicação de leguminosas para recuperação de solos degradados tem sido destacada por inúmeros autores porque se desenvolvem bem em condições edáficas adversas, apresentam elevada produção de biomassa e, através de processos de simbiogênese, fixam nitrogênio da atmosfera no solo (CARPANEZZI; CARPANEZZI, 1992; FRANCO; DIAS; FARIA, 1992; CALLAWAY, 1995; NAU; SEVEGNANI, 1997; REIS; ZAMBONIN; NAKASONO, 1999; REGENSBURGER, 2000).

Entre as leguminosas utilizadas para recuperação de solos degradados destaca-se a bracatinga (*Mimosa scabrella Benth*). De acordo com Callaway (1995) a bracatinga é uma espécie facilitadora da sucessão secundária devido a sua elevada produção de serapilheira. Ela é uma espécie pertencente à família *Leguminosae* e ocorre predominantemente entre altitudes de 400 m e 1800 m, com índice de precipitação entre 1300 mm e 2300 mm e temperatura média anual entre 12 e 20°C (PROJETO FAO-GCP/BRA/025FRA, 1990; CARPANEZZI; CARPANEZZI, 1992; NAPPO; OLIVEIRA FILHO; MARTINS, 2000; NAPPO; GRIFFITH; MARTINS, 2004; NAPPO; GRIFFITH; MARTINS, 2005).

A *Mimosa scabrella Benth* é nativa do Sul do Brasil e é encontrada na Floresta Ombrófila Mista nas formações Montana e Alto Montana e nas florestas secundárias,

principalmente em capoeiras e capoeirões, apresenta uma vida relativamente curta, não ultrapassando 25 a 30 anos (LORENZI, 1998). Ela pode produzir semente já no primeiro ano de idade, no entanto, sua produção é mais profusa a partir do terceiro ano, em indivíduos bem ensolarados (EMBRAPA, 1998). Ela tem grande profusão de sementes e sua dispersão é por gravidade (dispersão menos eficiente do que por vento) e isto limita sua presença em blocos de regeneração natural em solos muito degradados, onde o banco de sementes foi perdido. É uma espécie de transição de formações pioneiras para secundárias e por isso tem uma habilidade de rebrote limitada (VIVAN, 1998).

Estudos demonstraram os efeitos positivos da *Mimosa scabrela* em áreas de empréstimos, em especial na formação de um pequeno horizonte superficial orgânico, diminuição da densidade e aumento da porosidade do solo, além da incorporação de matéria orgânica (REICHMANN NETO; SANTOS, 1982). Regensburger (2000), em pesquisas de recuperação ambiental em área de mineração no município de Doutor Pedrinho (SC), comparando leguminosas com não leguminosas, concluiu que a bracatinga foi a espécie mais bem sucedida, suportando as condições adversas do solo argiloso alumínico local.

No Quadro 2 estão relacionadas as principais técnicas mecânicas e silviculturais de recuperação recomendadas pelos autores (CARPANEZZI, 1992; FRANCO *et al.*, 1992; GRIFFITH, 1992; KAGEYAMA *et al.*, 1992; GISLER *et al.*, 1993; GUEDES *et al.*, 1997; VIVAN, 1998; GRIFFITH *et al.*, 2000, entre outros).

Quadro 2 – Síntese das principais técnicas recomendadas para recuperação de áreas degradadas

PRINCIPAIS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO	AUTORES
Escarificação (ripagem), translocação direta do solo e criação de micro-habitats	Barth (1989)
Transposição do solo	Griffith, Dias e Jucksch (1994)
Distribuição da vegetação em módulos	Rodrigues <i>et al.</i> (1996)
Uso da sucessão secundária	Kageyama <i>et al.</i> (1992), entre outros.
Sucessão ecológica + tapete verde e consórcio de espécies	Griffith <i>et al.</i> (2000) e Martins (2001)
Nichos / ilhas de vegetação	Vivan (1998) e Guedes <i>et al.</i> (1997), entre outros
Técnicas nucleadoras	Reis (2003) e Tres <i>et al.</i> (2005)
Uso de leguminosas	Kageyama <i>et al.</i> (1992), Franco <i>et al.</i> (1992) e Carpanezzi (1992), Campello (1996), entre outros
Uso de serapilheira	Griffith (1992) e Gisler <i>et al.</i> (1993), entre outros
Criação de rugosidades no solo	Aumond (2003).
Construção de terraços, murundus, sistemas de drenagem e pequenas depressões. Descompactação do solo	Bertoni <i>et al.</i> (1985) e IBAMA (1990)
Plantio misto	Kageyama e Gandara (2000)
Plantio por sementes	Kageyama e Gandara (2000)
Uso de gramíneas	Anjos e Reissmann (1994)
Poleiros artificiais	Melo <i>et al.</i> 2000; Reis <i>et al.</i> (2003) e Cortines <i>et al.</i> (2005)

Fonte: O autor (2007).

Na seleção de espécies secundárias para recuperação, Davide (1994) recomenda espécies vegetais de crescimento rápido que protejam e enriqueçam o solo, abriguem e sirvam de alimento para a fauna e restabeleçam a água no solo. Os indicadores de avaliação de implantação em projetos de recuperação ambiental, recomendados por Rodrigues e Gandolfi (1996) são as mortandades de espécies vegetais e a avaliação da erosão. Já os indicadores após implantação devem ser o desenvolvimento das mudas, o índice de cobertura do solo, a regeneração natural, a fisionomia e a diversidade vegetal. A escolha de técnicas adequadas e o uso de indicadores após a implantação constituem partes importantes de qualquer metodologia para a recuperação ambiental.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo caracteriza-se o meio físico e biótico da região da pesquisa identificando a área do experimento. São descritos os materiais e métodos aplicados na pesquisa e o modo de preparação terreno. É apresentada a forma de estruturação do modelo ecológico para a recuperação de áreas degradadas e como foram realizadas as medidas das variáveis, o tratamento analítico dos dados e como foram integradas essas informações.

6.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO

A área objeto do estudo situa-se no município de Doutor Pedrinho, na localidade de Campo Formoso, estado de Santa Catarina, na bacia do rio Benedito encravada no Médio Vale do Itajaí (Figura 18) onde, ocorre lavra de argila há cerca de 20 anos.

As coordenadas geográficas do centro do experimento, medidas na estação de aquisição de dados para a realização da pesquisa, são as seguintes:

- a) Latitude sul: $26^{\circ} 39' 15''$;
- b) Longitude oeste: $49^{\circ} 29' 15,2''$.

A área pertence ao planalto sedimentar catarinense situando-se numa altitude aproximada de 900 metros.

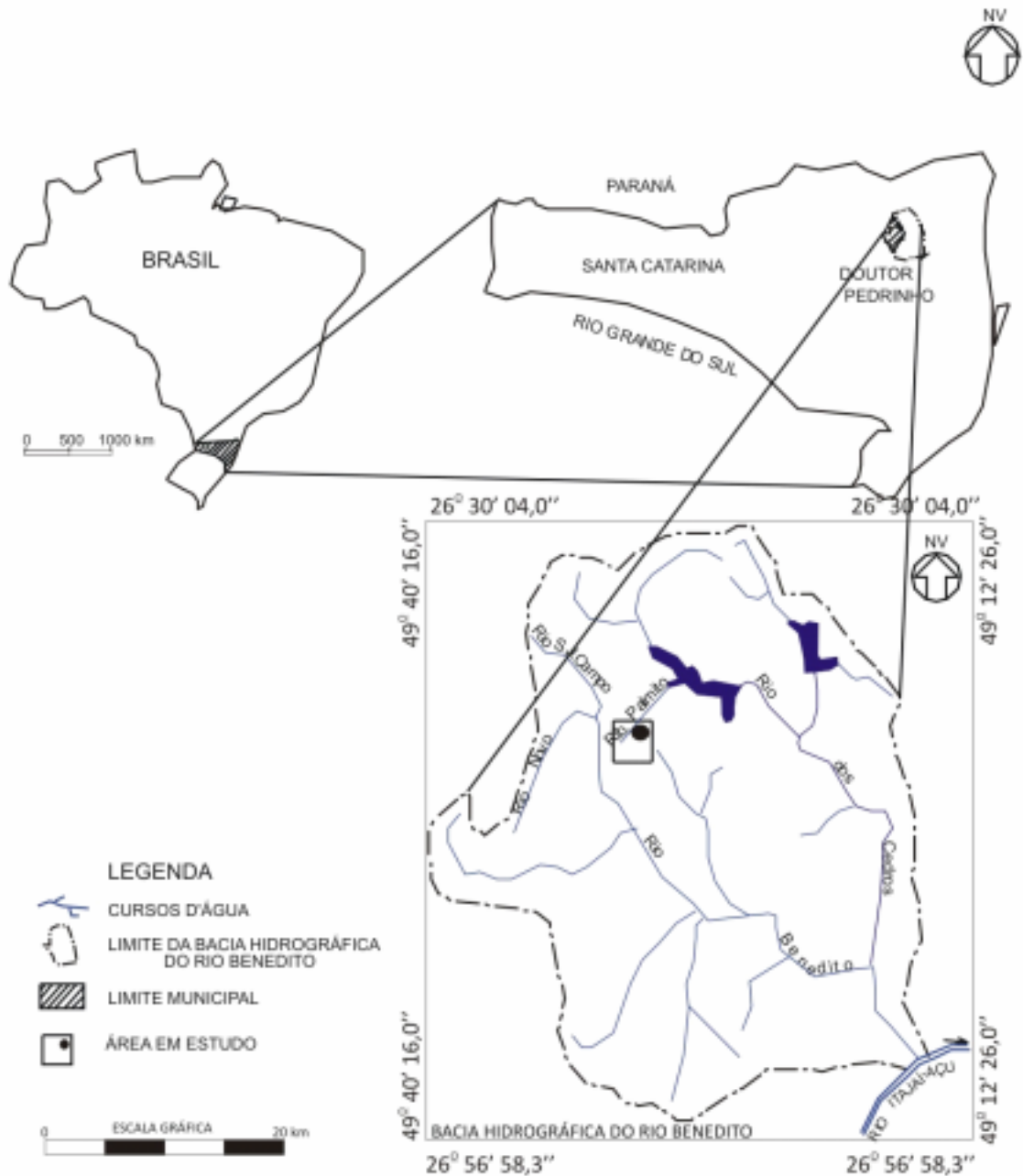


Figura 18 – Estado de Santa Catarina e em destaque o município de Doutor Pedrinho, contendo a localização da área de pesquisa em Campo Formoso

Fonte: Aumond (2006).

6.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A geologia regional foi pesquisada para prospecção de argilominerais para atender às necessidades da indústria de revestimento cerâmico por Aumond (1984). Desse relatório foram extraídas as informações da geologia e geomorfologia do planalto gondwânico. A região do médio Vale do Itajaí pertence sob o ponto de vista geomorfológico, à faixa de transição entre os domínios morfoclimáticos das Araucárias e dos Mares de Morros e

Chapadões. As características fisiográficas da área se aproximam mais do primeiro domínio, que é caracterizado pelos planaltos subtropicais cobertos pela floresta com pinheiros, particularmente pela presença de altiplanos que bordejam os limites das litologias pré-cambrianas. O panorama paisagístico da região é muito monótona e a feição que mais se destaca são os altos campos sustentados pelos pacotes de arenitos característicos da borda da Bacia Gondwânica. O perfil geológico regional repete-se na área pesquisada, intercalando-se pacotes de arenitos e folhelhos com espessuras de várias dezenas de metros pertencente à Formação Rio do Sul do Subgrupo Itararé. A Formação Rio do Sul, que atinge a espessura de 350 metros em Santa Catarina, é formada em ambientes antigos marinhos deltaicos, glaciais, fluvial e lacustre glacial de constituição areno-argilosa. Esta formação geológica é responsável pela geração de argilominerais granulometricamente muito finos, como os ocorrentes em Campo Formoso, localidade da área de pesquisa. A predominância de argilitos e ritmitos, que recordam varvitos, nos altos campos de Doutor Pedrinho, sugere um ambiente geológico para sua formação glacial e glácio-marinho misto, do tipo descrito por Santos (1979). O topo da coluna é sustentado por um arenito limitado por escarpas abruptas com algumas dezenas de metros de altura encoberto por uma espessa camada de folhelho cuja alteração gerou as argilas de interesse econômico para a indústria de cerâmica.

6.3 SOLOS

Baseado em propriedades edafoambientais, influenciadas por fatores como clima, organismos, geologia (rocha matriz), relevo e tempo, Uberti (2005) especializou o território catarinense identificando e descrevendo 18 Regiões Edafoambientais Homogêneas.

A região de Canoinhas limita ao norte a Região Edafoambiental Homogênea de Ituporanga e se diferencia desta pelo clima devido à altitude (900 metros) e pela cobertura de Floresta Ombrófila Mista (UBERTI, 2005).

A área da pesquisa localiza-se no extremo norte da Região Edafoambiental Homogênea de Ituporanga, cabendo ressaltar que nesta área específica temos também altitudes de 900 metros e cobertura de Floresta Ombrófila Mista.

Segundo Uberti (2005) esta região constitui-se na maior concentração de rochas sedimentares de Santa Catarina, onde dominam classes de solos do tipo Cambissolos e Gleissolos com inclusões de argissolos e de Neossolos Litólicos. Estes Cambissolos apresentam um forte potencial de compactação. Entre as propriedades diagnósticas, com forte importância negativa, está o caráter alumínico desses solos. A relação silte/argila e a alta

atividade da argila são outras propriedades diagnósticas. O relevo nessa região apresenta alta heterogeneidade, contrapondo-se a acentuada homogeneidade dos solos.

Especificamente na região de Doutor Pedrinho os solos predominantes são os Cambissolos Húmicos Alumínicos. São solos desenvolvidos em sua grande maioria da alteração residual das rochas gondwânicas, predominando aqueles derivados da Formação Rio do Sul (Subgrupo Itararé), como os da área de pesquisa, ocorrentes em clima Cfb, Floresta Ombrófila Mista, em cotas superiores a 900 metros. As características mais importantes desses solos em ordem decrescente são: ausência de gradiente textural e conseqüente ausência de cerosidade, alta floclulação de argilas, perfis de solos medianamente profundos ou profundos, altos teores de silte, que conjuntamente com a argila, forma a classe textural argilo-siltosa, abundância de material não-intemperizado, na massa do solo, cores brunadas e horizonte A húmico. Entre as propriedades químicas, destaca-se a baixa fertilidade natural decorrente da rocha matriz, razão do caráter alumínico, CTC alta e relação silte/argila em torno de um. De acordo com Uberti (2005) essas características indicam a jovialidade desses solos.

Do ponto de vista de matéria-prima cerâmica, além dos Cambissolos Húmico Alumínico, são de interesse econômico aquelas áreas de ocorrência dos Argissolos Vermelho Amarelo (antigo Podzólico Vermelho-Amarelo), em função de terem o horizonte B mais desenvolvido e uma boa drenagem que facilita a lixiviação dos óxidos de ferro se refletindo em argilas com cores claras. De acordo com Aumond (1992) os argilominerais dos altos campos de Doutor Pedrinho são constituídos à base de caulinita e ilita e evidenciam um processo de degradação resultante de mudanças climáticas na época de deposição dos sedimentos detríticos do topo da Formação Rio do Sul.

Nos estudos realizados para explicar as origens dos solos e argilas da região da área estudada, Aumond (1992, p. 65) afirma que:

A correlação das características herdadas com a composição atual dos argilominerais das formações superficiais permite que se afirme que as condições morfoclimáticas atuais exerceram um papel decisivo na evolução geoquímica do perfil dos solos e formações superficiais da área estudada. As condições topográficas, drenagem, precipitação pluviométrica e umidade relativa anual, excedentes hídricos, temperatura e taxa anual de insolação são alguns dos fatores que regem este processo. Estes e outros fatores interagem de uma forma complexa, ora predominando uns, ora outros, em função das variáveis morfoclimáticas locais e regionais.

6.4 HIDROGRAFIA

A área de pesquisa abrange parte da bacia hidrográfica do Rio Benedito, tributário da margem esquerda do rio Itajaí-Açu, pertencentes à vertente do Atlântico (ATLAS DE SANTA CATARINA, 1986). A classificação da estrutura da rede de drenagem utilizando os critérios constantes em Rivereau (1970) é característica de rochas homogêneas e isotrópicas, no caso específico, formado por rochas sedimentares argilosas, configurando uma geometria caracteristicamente dendrítica (Figura 18).

6.5 CLIMA

As condições climáticas da região da área pesquisada, segundo Köppen (1948), classificam-se como mesotérmico úmido (Cfb), sem estação seca definida, apresentando temperatura média anual de 19,7°C e precipitação total anual entre 1600 a 1700 milímetros (ATLAS DE SANTA CATARINA, 1986).

Uberti (2005) ao descrever Região Edafológica Homogênea de Ituporanga enfatiza que o clima não foi um fator marcador de ambiente que definisse alguma propriedade inédita nos solos desta região, salvo no extremo norte onde a presença da Floresta Ombrófila Mista sugere a interferência de clima Cfb.

6.6 VEGETAÇÃO

Em décadas passadas, ocorreram na região onde se localiza a área de estudo, extrativismo de madeira, depois extrativismo de carvão vegetal e posteriormente a área foi explorada para agricultura e pecuária. A área de estudo é formada por altiplanos sedimentares com vegetação rasteira e fragmentos de Floresta Ombrófila Mista ladeados inferiormente por escarpas abruptas de arenitos que circundam vales onde se desenvolvem fragmentos de Floresta Ombrófila Densa.

A cobertura original consistia de espécies características da zona de ecótono entre a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Mista (KLEIN, 1980). Décadas de atividades econômicas resultaram num verdadeiro mosaico de estádios sucessionais de vegetação secundária e atualmente a vegetação de áreas remanescentes da floresta original se entremeia com a vegetação secundária e atividades agrícolas e pecuárias.

Estudos anteriores realizados por Nau e Sevegnani (1997) na localidade da mineração identificaram 132 espécies de vegetais, correspondentes a 132 gêneros e 54 famílias, inclusas 18 espécies exóticas inseridas na região em projetos de recuperação ambiental. Nas áreas remanescentes, no entorno da área de pesquisa, encontram-se *Araucaria angustifolia*, *Alchornea triplinervia*, *Podocarpus lambertii*, *Drymis brasiliensis*, *Eugenia sp.*, *Ocotea odoiifera*, *Ocotea puberula*, *Nectandra lanceolatada*, *Mimosa scabrela*, *Tabebuia sp.*, entre outras.

A feição mais marcante constitui os altiplanos com fragmentos da Floresta Ombrófila Mista circundados por vegetação secundária e ladeados por escarpas abruptas de constituição areníticas. Nos vales e nas encostas se desenvolvem uma vegetação de porte, característica da Floresta Ombrófila Densa, apenas ocasionalmente com ocorrência de *Araucaria angustifolia* (AUMOND, 1984).

6.7 PREPARO DO TERRENO

A área da pesquisa foi anteriormente, alvo da mineração de argila, tendo sido explorado de três até seis metros de profundidade. Em novembro de 2003, com auxílio de um trator de esteira tipo D-6, foi repostado o substrato nas cavas com estéril da própria mineração, constituído por fragmentos de folhelhos e siltitos não alterados a semi-alterados. Após a reposição do substrato, fez-se o reafeiçoamento topográfico com regularização da morfologia do terreno. As Fotos 7 a 12 mostram as diversas etapas da implantação do experimento.



Foto 7 – Reafeiçoamento topográfico da área de pesquisa executado com trator tipo D-6 – 2003

Fonte: Figueiredo (2003).



Foto 8 – Coleta do solo orgânico e serapilheira em área vizinha da pesquisa com escavadeira hidráulica – 2003

Fonte: Figueiredo (2003).



Foto 9 – Aspecto solo orgânico misturado com serapilheira translocado de área vizinha – 2003

Fonte: Aumond (2003).



Foto 10 – Espalhamento do solo e serapilheira com trator tipo D-6 – 2003

Fonte: Aumond (2003).



Foto 11 – Preparação das rugosidades com escavadeira hidráulica – 2003

Fonte: Aumond (2003).



Foto 12 – Seleção de mudas da *Mimosa scabrella* – 2003

Fonte: Figueiredo (2003).

A assimetria da forma e da inclinação do terreno permitiu dividir o experimento em quatro parcelas, duas com pendente de 10% e duas com pendente de 7%. As duas parcelas com declividade de 10% estão voltadas com a face da pendente para noroeste e as duas parcelas com declividade de 7%, estão com a face da pendente voltada para sudoeste. As parcelas voltadas para o quadrante noroeste têm 20,5X40 metros, perfazendo 820 m² cada uma e as parcelas voltadas para sudoeste têm 18,5X60 metros, perfazendo 1.110 m² cada uma. As quatro parcelas foram circundadas por uma estrada com no mínimo três metros de largura para evitar o efeito de borda das áreas adjacentes sobre o experimento e evitar o escoamento da água da periferia para o interior das parcelas. As quatro parcelas foram ainda separadas por corredores de serviços da mesma largura, para evitar interferências entre si e facilitar o acesso, minimizando ao máximo o pisoteio durante o experimento (Figura 19).

Para evitar a circulação de pessoas estranhas à pesquisa ou a entrada de animais domésticos que poderiam interferir no processo, a área foi isolada com cercamento de arame farpado.

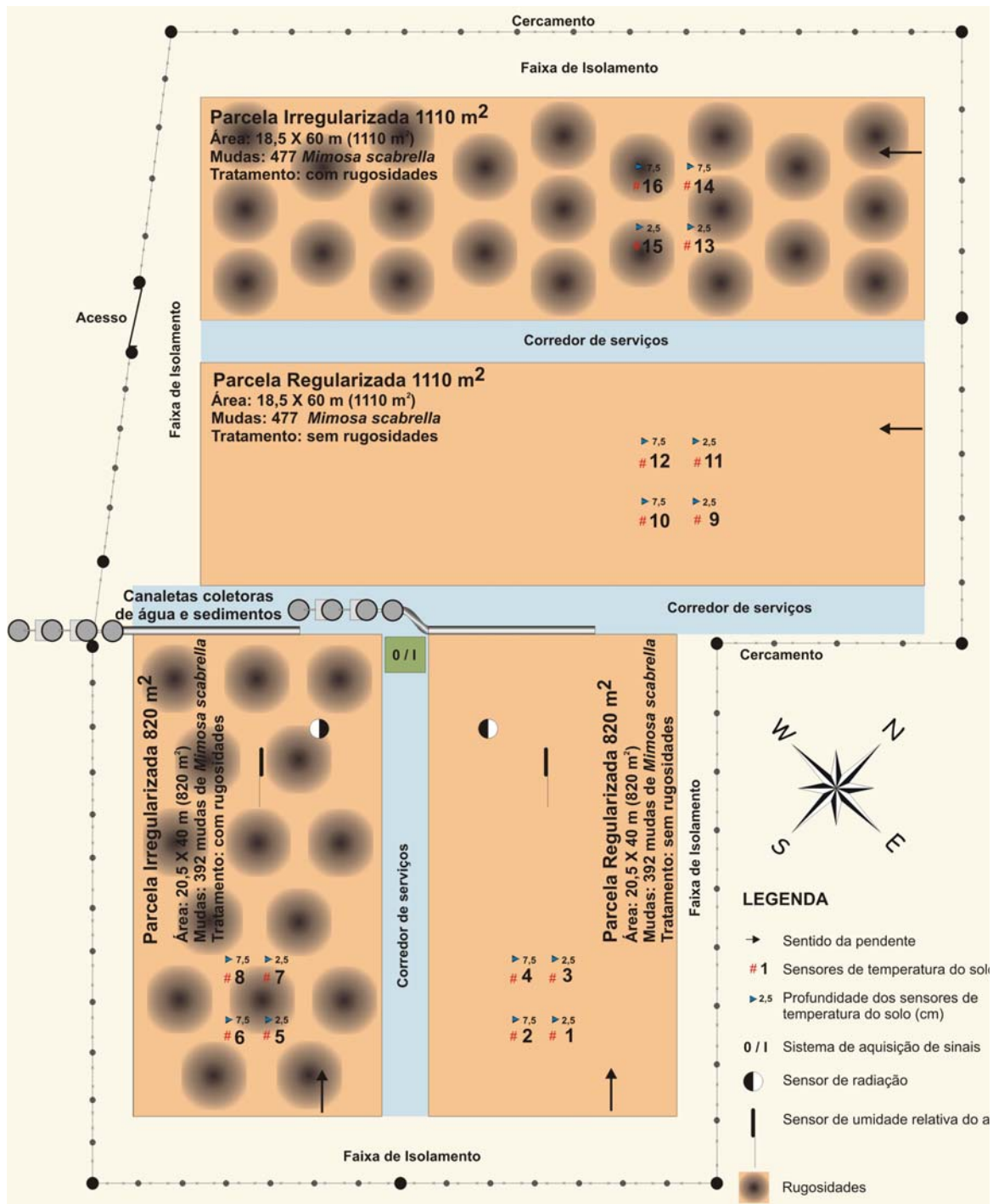


Figura 19 – Croqui esquemático das quatro parcelas de pesquisa

Fonte: Aumond (2006).

Partindo de condições ecológicas iniciais iguais, na seqüência foi realizado o sorteio das quatro parcelas e em duas delas foram criadas rugosidades no terreno. Essas rugosidades são pequenas variações do relevo com profundidades variando de 40 à 75 centímetros e largura variando de 100 à 500 centímetros, correspondendo à cerca de 300 rugosidades por hectare, conforme indicado no levantamento planialtimétrico parcial de detalhe da área para

melhor caracterização das mesmas (Figura 20). Essas rugosidades foram executadas com auxílio de uma escavadeira hidráulica (Foto 11).

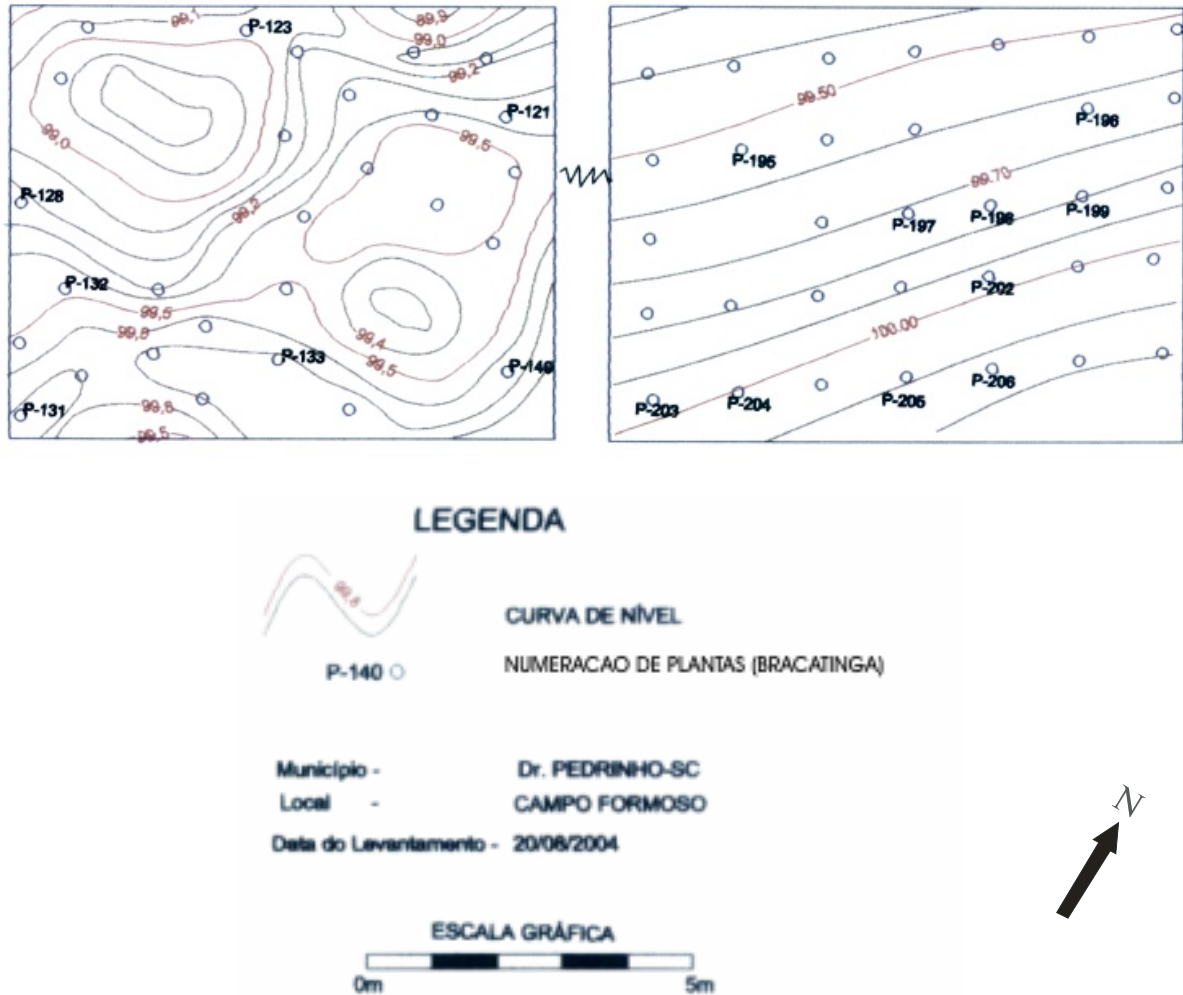


Figura 20 – Levantamento planialtimétrico de detalhe das duas áreas mostrando as rugosidades de uma fração de área em pesquisa

Fonte: Aumond (2006).

As rugosidades são constituídas por superfícies convexas propícias ao processo erosivo, estando associadas a superfícies côncavas que constituem pequenas depressões (Foto 13). Vale salientar que, na mineração, as rugosidades do terreno são conseqüências da própria exploração mineral e a regularização topográfica com máquinas provoca a compactação do solo e conseqüente aumento da densidade do solo e diminuição da infiltração da água retardando a recuperação.



Foto 13 – Rugosidades do terreno onde se observam superfícies convexas, propícias a erosão, associadas a superfícies côncavas que formam pequenas bacias de contenção – 2004

Fonte: Aumond (2004).

Devido às condições extremamente adversas do substrato, à inclinação do terreno e à irregularização morfológica, deixadas intencionalmente em duas parcelas, optou-se por uma densidade de 4.501 mudas de bracatinga por hectare, portanto superior ao recomendado na literatura que é de $2 \times 2 \text{ m}^2$, que corresponderia a 2.500 mudas por hectare. Por não se tratar de áreas planas e niveladas, não se aplicou a metodologia dos módulos com linhas regulares em forma de quincôncio nas parcelas irregulares. Primeiro foram implantadas nas áreas irregulares as mudas com espaçamento variável entre si, adaptando-se sua distribuição de acordo com as rugosidades. Após conhecida a densidades de mudas, isto é, o número de mudas por metro quadrado, repetiu-se a mesma densidade nas áreas planas regulares, porém espaçadas regularmente em linhas, de forma a dar uma distribuição espacial em quincôncio, isto é, regular simétrica. Em função da dimensão e superfície da área de pesquisa foram plantadas 1.738 mudas de bracatinga em todas as parcelas do experimento.

6.8 PREPARAÇÃO DAS COVAS E ADUBAÇÃO

A abertura das covas (berços) foi realizada com escavadeira manual com as dimensões de 15 centímetros de diâmetro por 25 centímetros de profundidade.

Baseado em análises de solos anteriores, foram preparadas as medidas corretivas dos nutrientes adicionando superfosfato triplo, cloreto de potássio e uréia, para que pudesse ocorrer o estabelecimento inicial das mudas de bracatinga. A baixa relação de nitrogênio (N) se justifica pelo fato da bracatinga ser da família *Fabaceae*, tendo por isso a capacidade de realizar simbiogênese com bactérias do gênero *Rizobium*, induzindo à fixação do nitrogênio atmosférico e disponibilizando-o às plantas. A adubação química foi realizada baseada no Sistema de Recomendação de Adubação e Calagem do RS e SC (ROLAS, 2004). A utilização de adubo químico – NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) – teve por finalidade o fornecimento de nutrientes somente para o estabelecimento inicial das mudas de bracatinga.

6.9 TRANSLOCAÇÃO DE SERAPILHEIRA E PLANTIO DE ARBÓREAS

De uma área das proximidades translocou-se com auxílio de uma escavadeira hidráulica (Fotos 7 e 8) uma camada de 20 a 30 centímetros de solo, mais serapilheira (folhas, galhos, caules, frutos, sementes e resíduos de animais), perfazendo cerca de 90 m³ de solo e serapilheira que foi espalhado proporcionalmente nas quatro parcelas, resultando numa cobertura final média de 2,5 centímetros na área de pesquisa. Em processos de recuperação ambiental, em áreas de mineração, a transposição do solo e da serapilheira sincrônica a operação de lavra tem a vantagem de minimizar os movimentos de massa e provocar menor deterioração da serapilheira e da micro-fauna do solo, facilitando o processo de recuperação ambiental.

As mudas de *Mimosa scabrella* provieram de um mesmo lote de sementes, cultivadas em 23 de setembro de 2003, adquiridas do Viveiro Mudar localizado no município de Agrolândia/SC.

Para garantir o rigor da metodologia científica, antes do plantio foram realizadas as medidas das alturas das mudas de *Mimosa scabrella*, separando-as por classe de altura, de forma a permitir uma distribuição de mesma proporção em todas as parcelas. As classes de altura escolhidas foram as seguintes: igual ou menor que 16 cm, 16-20 cm, 20-24 cm, 24-28 cm, 28-32 cm, 32-36 cm, 36-40 cm, 40-44 cm, 44-48 cm e igual ou superior a 48 cm de altura. As parcelas de 1.100 m² receberam cada uma 477 mudas de *Mimosa scabrella* e as parcelas de 822 m² receberam cada uma 392 indivíduos, perfazendo as 1.738 mudas citadas anteriormente, nos 3.860 m² do experimento.

O replantio das mudas que pereceram foi realizado um mês após o plantio inicial, ocasião que se iniciaram as primeiras medições de biometria. Assim, no momento inicial,

considerado o tempo zero (T_0), a rigor não havia mortalidade de indivíduos.

6.10 ÁREA DA PESQUISA, COMPONENTES, DESCRIÇÃO DO MODELO DE SISTEMA ECOLÓGICO E SUBSISTEMAS PARA RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA

Nessa seção são apresentados, a área da pesquisa, o diagrama dos principais componentes, a descrição do modelo de ecológico para recuperação da área degradada, os subsistemas bióticos e abióticos, suas variáveis e as unidades de medidas consideradas na pesquisa.

a) Área da pesquisa

No esquema representado pela Figura 21, o sistema (“S”), constitui a área degradada (ambiente degradado) e o ambiente do entorno a vizinhança, (“A”). A área da pesquisa é representada pelos componentes principais: solo, água, vegetação, fauna, radiação e rugosidades (microtopografias), e que são influenciados pelo ambiente do entorno, no caso, representado por “A”. O homem faz parte do ambiente e a área degradada sofre influência da intervenção humana. Assim, a recuperação de uma área degradada será função (f) dos componentes da área degradada (S) (solo, água, vegetação, fauna, radiação e rugosidades) e do ambiente (clima, vegetação, fauna, solo e intervenção humana), conforme representado na Figura 21 e na equação seguinte: **Recuperação = f (componentes de S, A)**; onde: S = área degradada; A = ambiente externo.

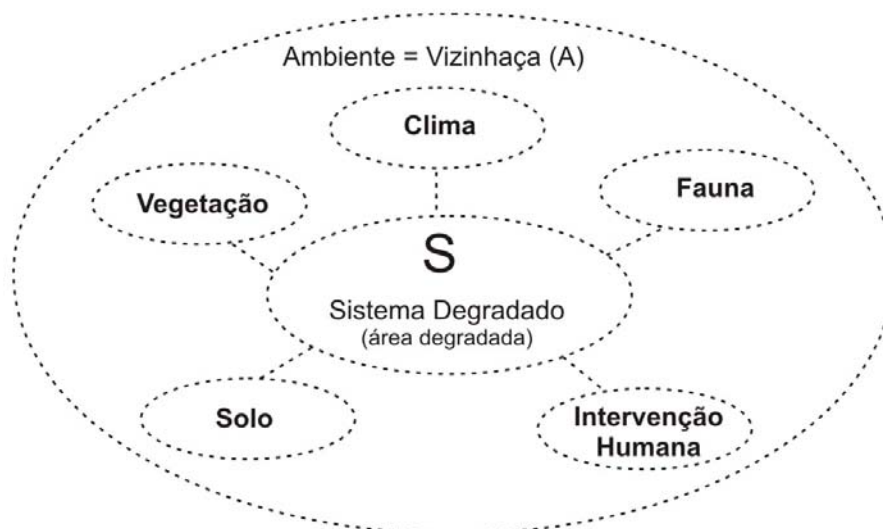


Figura 21 – Representação esquemática do sistema degradado (S) enfatizando os fatores do ambiente (A) sobre a área degradada

Fonte: Aumond (2006).

b) Componentes do modelo de sistema ecológico para recuperação da área degradada

Os principais componentes de um ecossistema baseados na bibliografia consultada (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996; VIVAN, 1998; KHATOUNIAN, 1999; AUMOND, 2003), que integram este modelo de sistema para a recuperação da área degradada, incluem o solo, água, vegetação, fauna (invertebrados), radiação e as rugosidades do terreno (Figura 22). Estes fatores relevantes ao serem analisados no nível B da Figura 22 são os subsistemas da área degradada e constituem nodos interrelacionados formando uma rede. Nessa representação hierarquizada, no nível C estão representados os componentes do subsistema fauna que forma um sistema aninhado dentro do sistema maior contido no nível B.

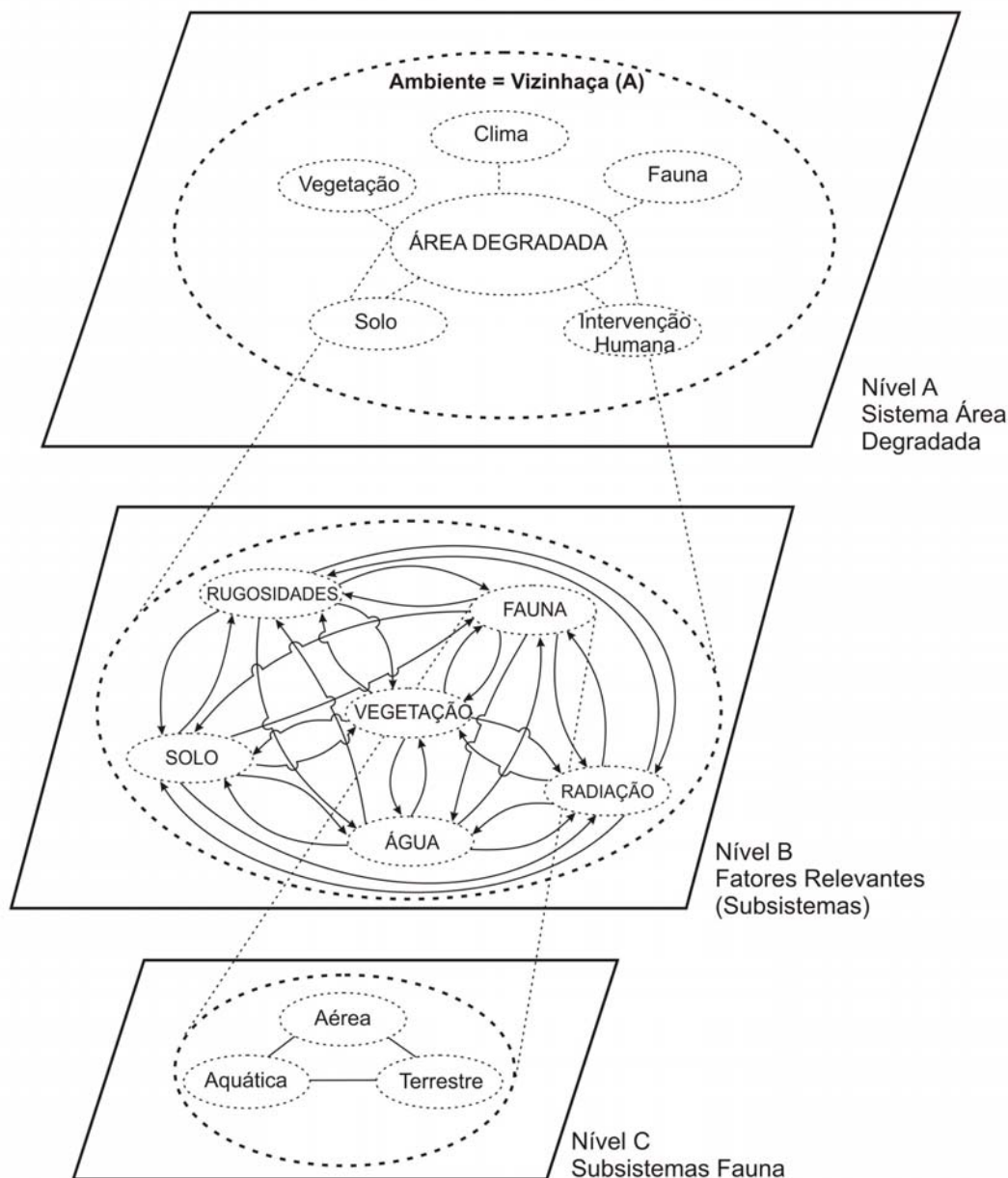


Figura 22 – Diagrama simplificado do sistema degradado com os componentes do ambiente (nível A). No nível B estão representados os elementos (subsistemas) da área degradada e no nível C estão representados os componentes do subsistema da fauna

Fonte: O autor (2007).

c) Descrição do modelo de sistema ecológico para recuperação de área degradada

Considerando a eleição dos seis componentes no sistema área degradada (S), definidos no item 4.5.1 (Fig. 10) e item 5.10 (área da pesquisa), para se determinar a intensidade das relações entre si e com o ambiente do entorno e o grau de importância, é necessário representar os componentes numa matriz em que os elementos são ordenados em

linhas e colunas (Quadro 3). Para determinar a intensidade das relações entre os componentes do sistema e com o ambiente, optou-se por aplicar quatro graus de intensidade, variando de zero à três, que representam:

- a) 0 = a intensidade da relação é nula;
- b) 1 = a intensidade da relação é fraca;
- c) 2 = a intensidade da relação é média;
- d) 3 = a intensidade da relação é intensa (forte).

A determinação das intensidades das relações foi definida empiricamente através de observações de campo avaliando-se sempre as quatro alternativas de graus de intensidades.

Quadro 3 – Representação do grau de intensidade das relações entre os componentes do sistema (S), representados em forma de matriz

Componente Influenciado / Componente que exerce influência	SOLO	ÁGUA	VEGETAÇÃO	RADIAÇÃO	RUGOSIDADE	FAUNA	AMBIENTE
SOLO	0	2	3	1	2	1	1
ÁGUA	3	0	3	3	1	3	1
VEGETAÇÃO	3	3	3	3	1	3	1
RADIAÇÃO	2	2	2	0	0	2	1
RUGOSIDADE	2	3	3	2	0	2	0
FAUNA	2	0	3	0	0	3	2
AMBIENTE	2	2	3	3	0	3	0

Fonte: Aumond (2006).

Os números contidos nos cruzamentos das linhas com colunas representam a intensidade das relações existentes entre os componentes do sistema. Assim, o número zero expressa a ausência de relação entre os dois componentes, o número um significa que a relação entre os dois componentes é fraca, o número dois significa uma relação média e o número três significa que a intensidade da relação entre os dois componentes analisados é muito intensa (forte).

Partindo da análise da matriz, pode-se estruturar a concepção do modelo do sistema ecológico para recuperação da área degradada, evidenciando graficamente as principais relações e intensidades, existentes entre os subsistemas que o compõem (Figura 23).

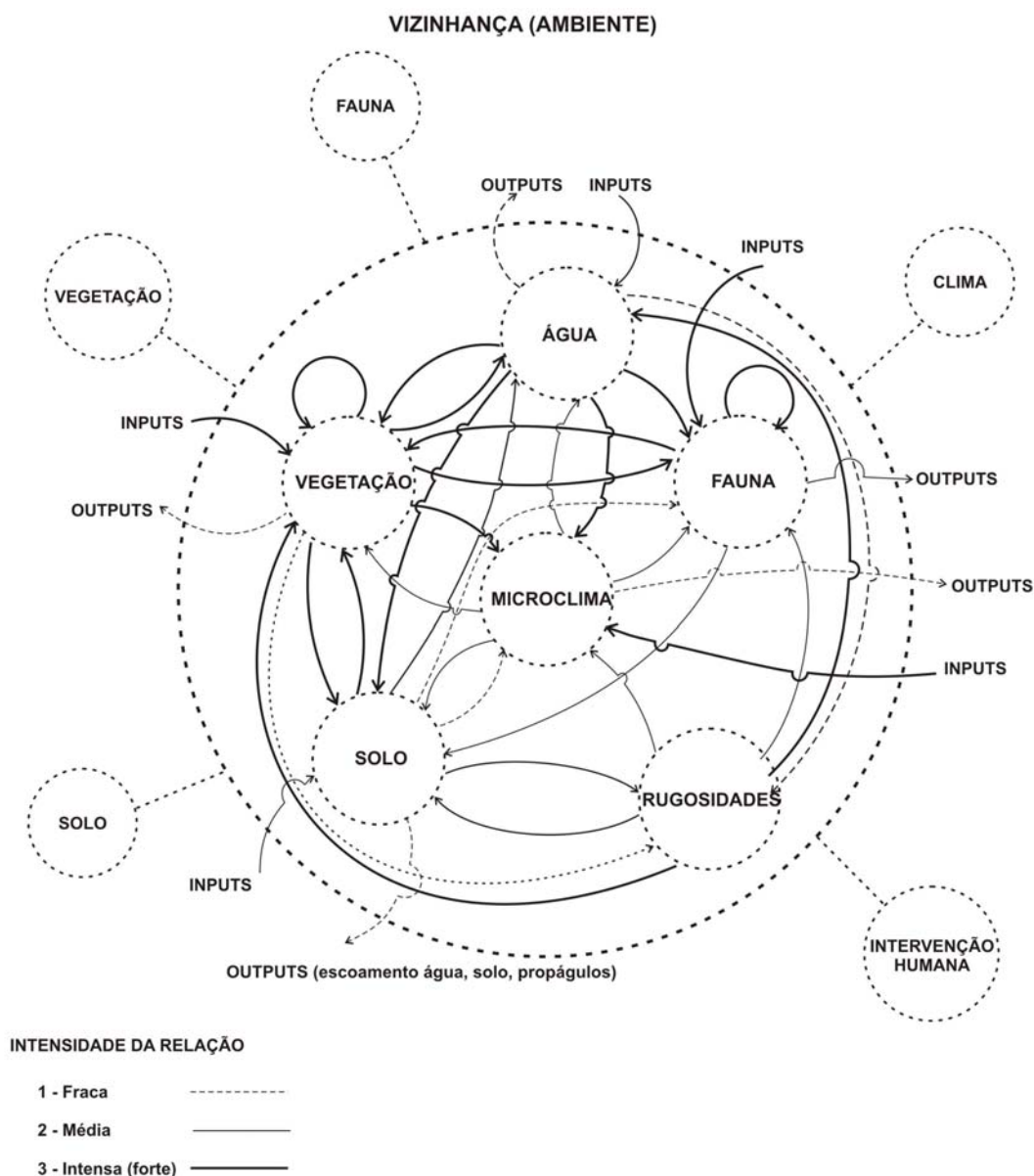


Figura 23 – Concepção do modelo de sistema ecológico para recuperação de um ecossistema degradado

Fonte: Aumond (2006).

A abordagem sistêmica com enfoque mais geral considera a teia complexa das interações de todos os elementos e fatores determinantes do processo e evita a sobrevalorização de um fator específico em detrimento de outros. A recuperação ambiental de uma área não pode ser avaliada apenas pela quantificação biométrica. São das medidas e da análise da interação de todos os elementos e fatores ecológicos é que se pode avaliar comparativamente as áreas em processo de recuperação. Neste projeto fez-se a análise integrada das inter-relações dos elementos bióticos e abióticos e sua evolução com auxílio do modelo ecológico para recuperação da área degradada.

Nos sistemas degradados alguns fatores ecológicos, tais como radiação, água e temperatura, em sua passagem transitória pelo sistema podem provocar uma degradação ambiental crescente. Outros elementos, como a passagem da fauna e a chegada de propágulos, contribuem para a aceleração do processo de recuperação ambiental. A recuperação ambiental é obtida pela internalização destes elementos e fatores ecológicos no sistema degradado, revertendo assim o processo de degradação crescente. Por isso, a importância de se analisar os fluxos de matéria e energia através das entradas (*input*) e saídas (*output*) e os fatores de retro-alimentação durante o processo de recuperação ambiental.

Baseado no modelo de sistema ecológico proposto para recuperação da área degradada descreve-se a partir do diagrama de influência, as relações existentes entre os componentes e como elas influenciam no processo de recuperação da área degradada.

O microclima é representado pelas variáveis radiação solar, temperaturas ambiente e do solo e pela umidade relativa do ar e é influenciado pela vegetação e água e em menor intensidade pelas rugosidades e pelo solo, além de ser influenciado pelo ambiente. A vegetação, as rugosidades, a água e o ambiente o afetam pela amenização das variáveis: radiação, umidade e temperatura. O solo o afeta pela maior ou menor retenção e liberação de calor. A água o afeta pela maior ou menor umidade relativa do ar. Por sua vez, o microclima influencia a vegetação, a fauna, a água e o solo de acordo com suas oscilações diárias e sazonais. O microclima pode também afetar, em pequena escala, o ambiente (a vizinhança) pela mudança da radiação, umidade e temperatura do sistema. A maior ou menor radiação afeta a temperatura ambiente, a temperatura do solo, a umidade relativa do ar que por sua vez afeta a biota.

As rugosidades do solo, além de afetarem o microclima, afetam também a vegetação e a fauna pela criação de “*habitats*” diferenciados e variáveis no tempo. As rugosidades também afetam a água, o solo pela maior ou menor retenção de água, seja na forma líquida ou liberando a água na forma de vapor. As rugosidades são afetadas em pequena intensidade pela retenção de água e do solo através da diminuição da sua variável altura (“*h*”). A vegetação afeta as rugosidades porque estas são nichos adequados a determinadas espécies vegetais, tal como as ciperáceas, que após a morte entulham as rugosidades com seus resíduos orgânicos diminuindo assim a variável “*h*”. O ambiente afeta as rugosidades pela maior ou menor precipitação e pelas oscilações climáticas diárias e sazonais.

A vegetação além de ser afetada pelo microclima e rugosidades é influenciada pelo solo e água, pela maior ou menor disponibilização de água e de nutrientes. Ela é também influenciada pela fauna através do aporte de sementes, pela polinização e inúmeros processos

simbiogênicos além de poder sofrer predação pela mesma. O ambiente externo afeta-a também pelo aporte de sementes, oscilações climáticas e pela precipitação de chuvas.

A vegetação por sua vez apresenta uma relação direta com a fauna disponibilizando condições ambientais favoráveis e recursos alimentares. A vegetação afeta o solo melhorando as propriedades físicas e químicas e criando as condições ambientais para os microorganismos edáficos se estabelecerem. Esta relação é na maioria das vezes simbiogênica. A vegetação afeta o microclima pela amenização da radiação, temperatura e luminosidade, além de interferir direta e indiretamente na umidade relativa do ar. A vegetação afeta a água que após ser extraída pelo sistema radicular é transportada para as folhas e se dissipa por evapotranspiração. O surgimento de um gradiente de vapor, resultante de oscilações da temperatura do solo e da vegetação aumenta também a evaporação (BRADY, 1989). Finalmente a vegetação pode também afetar o ambiente através da evaporação e amenização das condições ambientais, entre elas a luminosidade e a temperatura.

A água além de ser afetada pelo microclima, rugosidades e a vegetação é também afetada pelo solo e pelo ambiente. Pelo solo a água é afetada principalmente pela oscilação da temperatura e pela variação das propriedades físicas que provocam maior ou menor circulação da água e alterações no seu teor. Pelo ambiente ela é afetada pelas oscilações climáticas (temperatura, ventos) e precipitações. A água por seu turno afeta a vegetação e a fauna não só pela sua disponibilização vital, mas também pela criação de nichos variados.

O subsistema solo, é afetado pelo ambiente pelas oscilações climáticas (radiação, temperatura, ventos) e precipitações. O solo é também afetado pela amenização do microclima, notadamente a radiação, umidade e temperatura.

O solo também pode afetar o ambiente (vizinhança) em função do maior ou menor carreamento de partículas minerais, nutrientes e sementes, provocado pelo escoamento da água do sistema degradado. O subsistema fauna afeta o solo em função do seu revolvimento pelos organismos vertebrados e invertebrados e é por sua vez, afetado por ele, em função das variáveis físicas, notadamente a temperatura. As rugosidades e a água afetam o solo pelo seu maior ou menor encharcamento. O solo através das mudanças de suas propriedades físicas também afeta as propriedades da água além de ser causa de sua maior ou menor retenção no solo.

O solo, a vegetação e a fauna afetam um ao outro e funcionam como circuitos de retroalimentação do tipo *feedback* de equilíbrio que podem levar o sistema a homeostase. A vegetação e a fauna interagem mutuamente em função de estratégias evolutivas e consórcios de espécies (VIVAN, 1998). A fauna e a flora interagem entre si, por meio de mecanismos de

autocontrole e auto-regulação com mecanismos homeostáticos (BRAGA *et al.*, 2004) que garantem a normalidade e reduzem as oscilações dos ecossistemas (ODUM, 1988; VIVAN, 1998; BRAGA *et al.*, 2004).

O ambiente afeta o sistema degradado como um todo pelas condições climáticas, precipitação e aporte de propágulos e este é também afetado por ele, porém em menor proporção.

O ambiente afeta o sistema através das entradas (“*inputs*”) radiação solar, temperatura, iluminação, precipitação (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996) e chegada de propágulos e fauna. O sistema degradado pode por sua vez, afetar o ambiente pelas saídas (“*outputs*”), representada pelo escoamento, erosão e irradiação.

Com uma abordagem sistêmica, auxiliado pelo modelo proposto e com recursos conceituais e metodológicos foi possível diagnosticar os pontos de alavancagem e através da intervenção humana pode-se operar nos pontos mais sensíveis para obter melhorias no processo de recuperação da área degradada.

d) Subsistema rugosidade

Os elementos que definem a geometria das rugosidades do terreno estão representados na Figura 24. Em “a” está representado um perfil da superfície de uma área com superfície regular, sem rugosidades e em “b” está representado o perfil da uma área irregular, com as rugosidades.

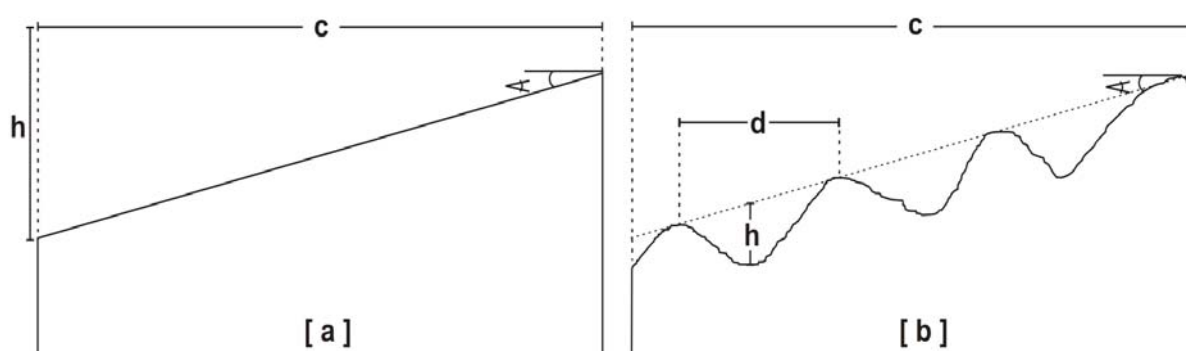


Figura 24 – Representação de cortes topográficos para superfícies regulares (perfil “a”) e com superfícies irregulares (rugosidades – perfil “b”)

Fonte: Aumond (2006).

Os três elementos identificados na Figura 24 definem a geometria do subsistema rugosidade e constituem as variáveis das rugosidades e são medidas de acordo com as

seguintes unidades: h = altura (desnível das rugosidades) medida em centímetros; d = distância entre duas rugosidades, medidas em centímetros; s = área das rugosidades medida em m^2 (não representada no perfil); α = representa a pendente (declividade) do sistema medido em graus (ângulo).

A caracterização da geometria de um relevo com rugosidades pode ser confrontada com a de um relevo regular. O relevo regular representa o método mais comumente recomendado de preparo do terreno para recuperação de áreas degradadas, notadamente em cavas de mineração e sistemas viários por ser mais simples e supostamente ser mais eficiente na recuperação.

O número de rugosidades (NR) é obtido pela área total da superfície (m^2) dividida pela área média (m^2) da superfície das rugosidades, conforme equação: $NR = \text{área total da superfície} / \text{área média das rugosidades}$.

Com as variáveis acima descritas é possível se fazer a confrontação da caracterização da geometria do relevo de um sistema regular de preparo do terreno com um sistema com um relevo irregular, representando o modelo proposto.

Nesta pesquisa a caracterização geométrica das rugosidades foi detalhada no item 6.7.

e) Subsistema radiação

Analisando o subsistema radiação em outro nível (B), identificam-se outros componentes que são as variáveis deste subsistema radiação (temperatura ambiente e do solo e umidade relativa do ar) conforme representadas na Figura 25. A radiação influencia a temperatura do ambiente e do solo e a umidade relativa do ar. O aumento da radiação se reflete no aumento da temperatura ambiente. O maior sombreamento, provocado pelo desenvolvimento da vegetação ou mesmo por um dia nublado, a rigor, deve aumentar a umidade relativa do ar. Assim, a radiação é a variável controladora da temperatura e da umidade relativa do ar.

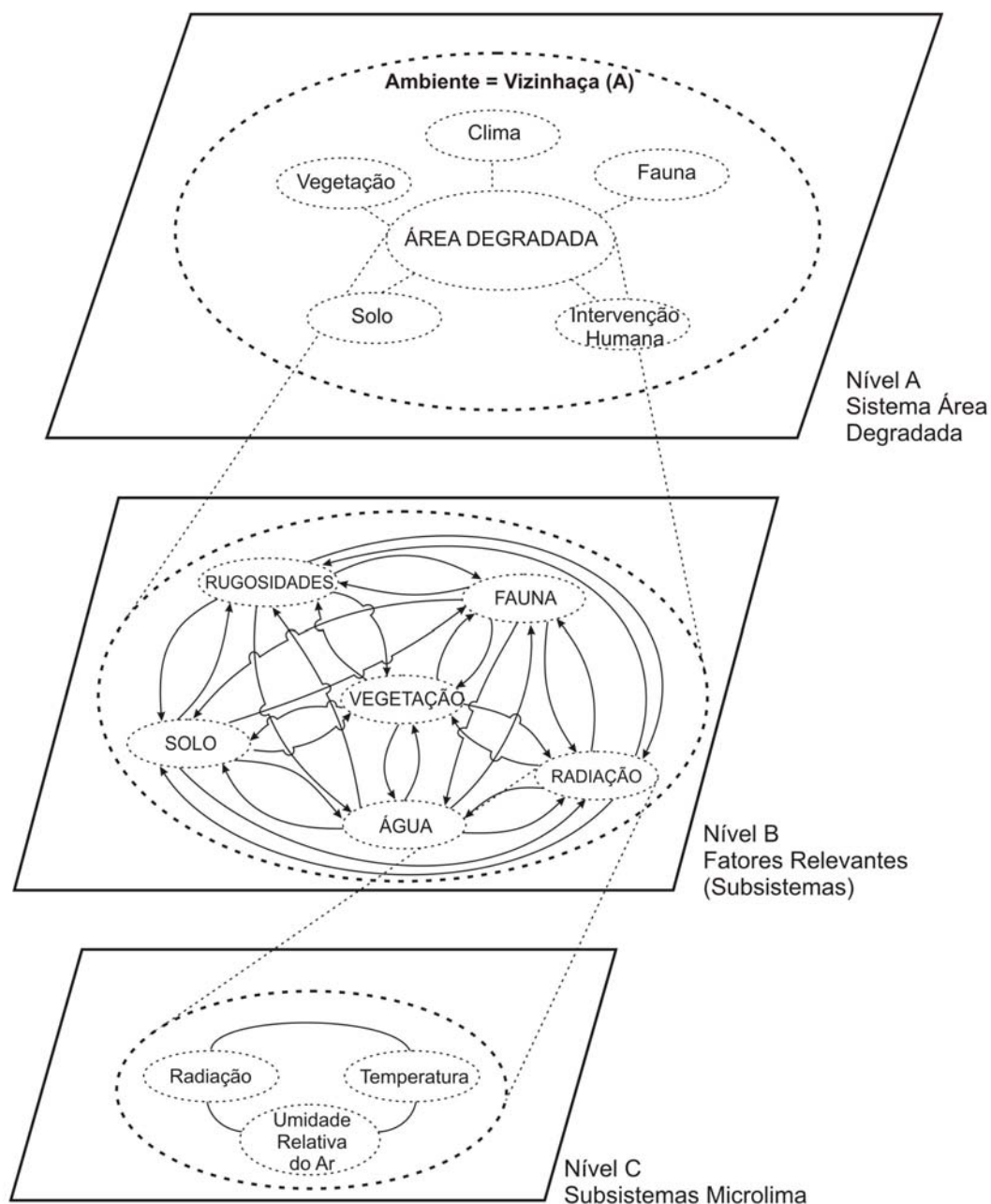


Figura 25 – Subsistema radiação composto pelas variáveis temperatura ambiente, temperatura do solo e umidade relativa do ar

Fonte: Aumond (2006).

Para Varejão-Silva (2001), a temperatura do ar à superfície, para análise do estado da atmosfera, deve ser realizada a uma altura da superfície do solo de 1,20 a 2,0 metros.

No modelo proposto, todas as medidas de radiação, temperatura do ar, e umidade relativa do ar foram realizadas a 1,30 metros da superfície do terreno. A radiação mede todo o espectro térmico (01 micron à 20 microns), portanto inclui a faixa do espectro luminoso. A variável radiação foi medida em W/m^2 . A temperatura foi medida em graus centígrados ($^{\circ}C$). A umidade relativa do ar úmido medida em percentual (%) foi obtida pelo quociente entre a

pressão parcial do vapor e a pressão de saturação àquela temperatura e é expresso em percentagem (VAREJÃO-SILVA, 2001).

f) Subsistema vegetação

O subsistema vegetação da Figura 26, quando analisado em outro nível (Nível C) é composto por dois componentes: bracatinga e espécies espontâneas. As espécies espontâneas correspondem às espécies vegetais (vegetação arbórea, arbustiva e herbácea) que se estabelecem na área a partir da germinação da serapilheira translocada para a área de pesquisa, ou que provieram de propágulos transportados pelos ventos ou animais de fora da área de pesquisa (ambiente).

As variáveis do subsistema bracatinga são a altura, o diâmetro do colo, o diâmetro a altura do peito (DAP) e a área da copa. As variáveis altura (h), diâmetro do colo (d) e o diâmetro a altura do peito (DAP) foram avaliadas em centímetros e a área da copa (ac) foi avaliada em metros quadrados (m²).

O subsistema espécies espontâneas é composto por elementos arbóreos, arbustivos e herbáceos. As variáveis medidas no subsistema espécies espontâneas foram o número de espécies vegetais estabelecidas no processo de recuperação ambiental; o índice de cobertura e a altura da cobertura da vegetação. Na pesquisa as medidas do índice de cobertura do solo foram realizadas na mesma ocasião que se fez as medidas da altura da cobertura dos elementos (arbóreos, arbustivos, herbáceos) com auxílio do método dos quadrantes. As unidades de medidas dessas variáveis são:

- a) espécies: número de unidades de espécies diferentes;
- b) índice de cobertura do solo: %;
- c) altura da cobertura: centímetros.

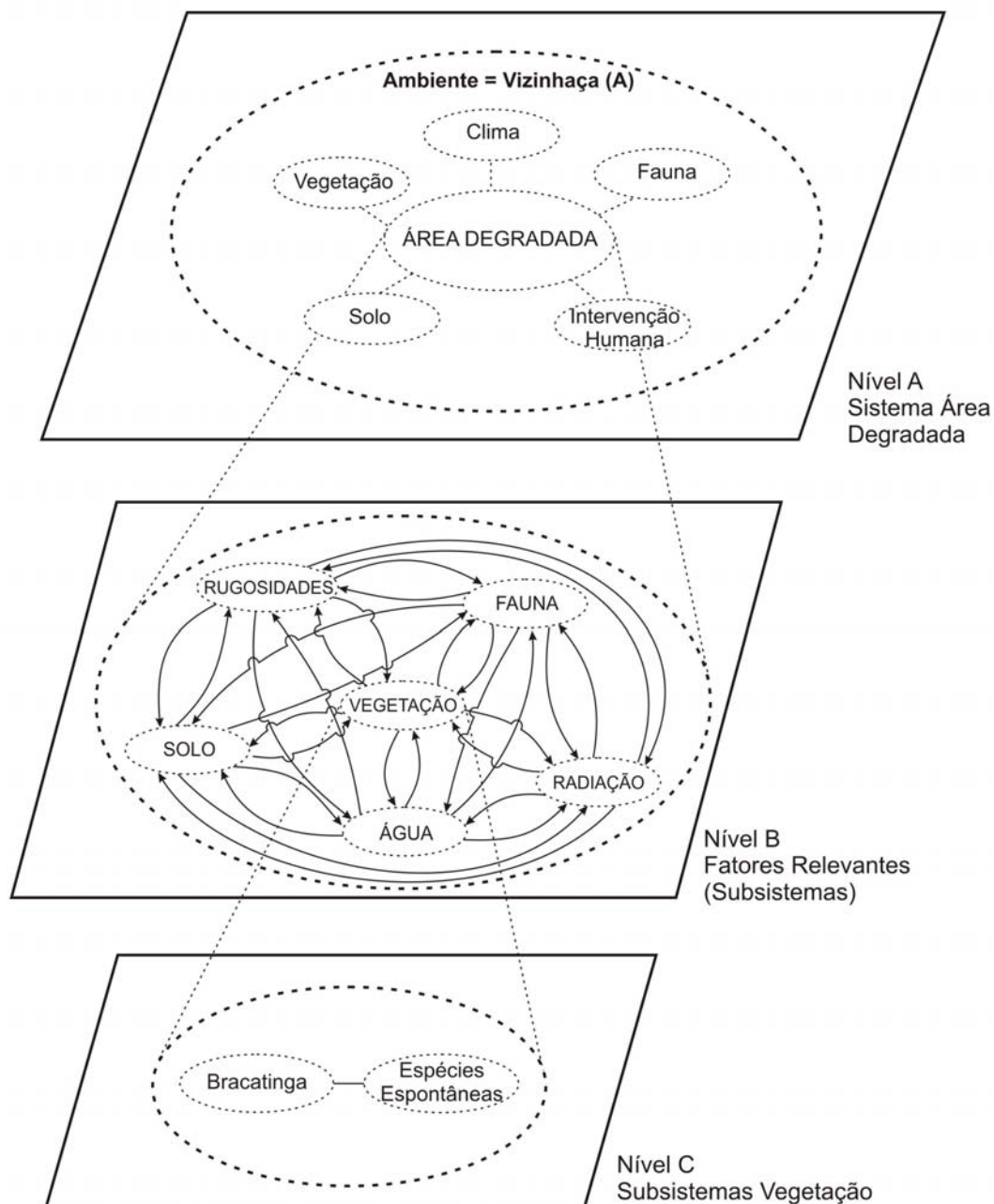


Figura 26 – Representação gráfica do subsistema vegetação (nível B) com seus subsistemas identificados nos níveis C

Fonte: Aumond (2006).

g) Subsistema fauna

O subsistema fauna de invertebrados é composto pelos seguintes elementos: fauna aérea, fauna terrestre e fauna aquática. As variáveis medidas nos dois componentes do subsistema fauna foram: riqueza, diversidade, similaridade, dominância, equidade e rarefação. A diversidade faunística foi medida com base no número de ordens e no número de indivíduos por ordens identificados. Nessa pesquisa não foi avaliada a fauna de invertebrados aquática.

h) Subsistema solo

O subsistema solo representado no nível B (Figura 27) é composto pelos componentes químicos, físicos e bióticos. Na avaliação dos componentes químicos do solo realizou-se a análise química do solo (P e K – mg/dm^{-3}), matéria orgânica (%), Al, Ca, Mg, H+Al e CTC (cmol/dm^3), saturação de bases e de Al (%), relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K). Nos componentes físicos determinou-se o coeficiente de infiltração de água no solo ($\text{l}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$), volume de água escoado para fora do sistema, perdas de solo, densidade aparente (g/cm^3), volume total de poros (VTP), umidade em amostras indeformadas, umidade gravimétrica em amostras compostas deformadas e temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$).

O índice de conservação da água no solo foi obtido pela diferença da água precipitada no período de tempo analisado (dado em mm) e o volume escoado (em mm) no mesmo período. As perdas do solo foram medidas em toneladas por hectare/ano ($\text{t ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), a umidade do solo foi medida em percentagem (%).

Nessa pesquisa não foram avaliados os componentes bióticos do solo que são representados pelo micro, meso e macrofauna do solo.

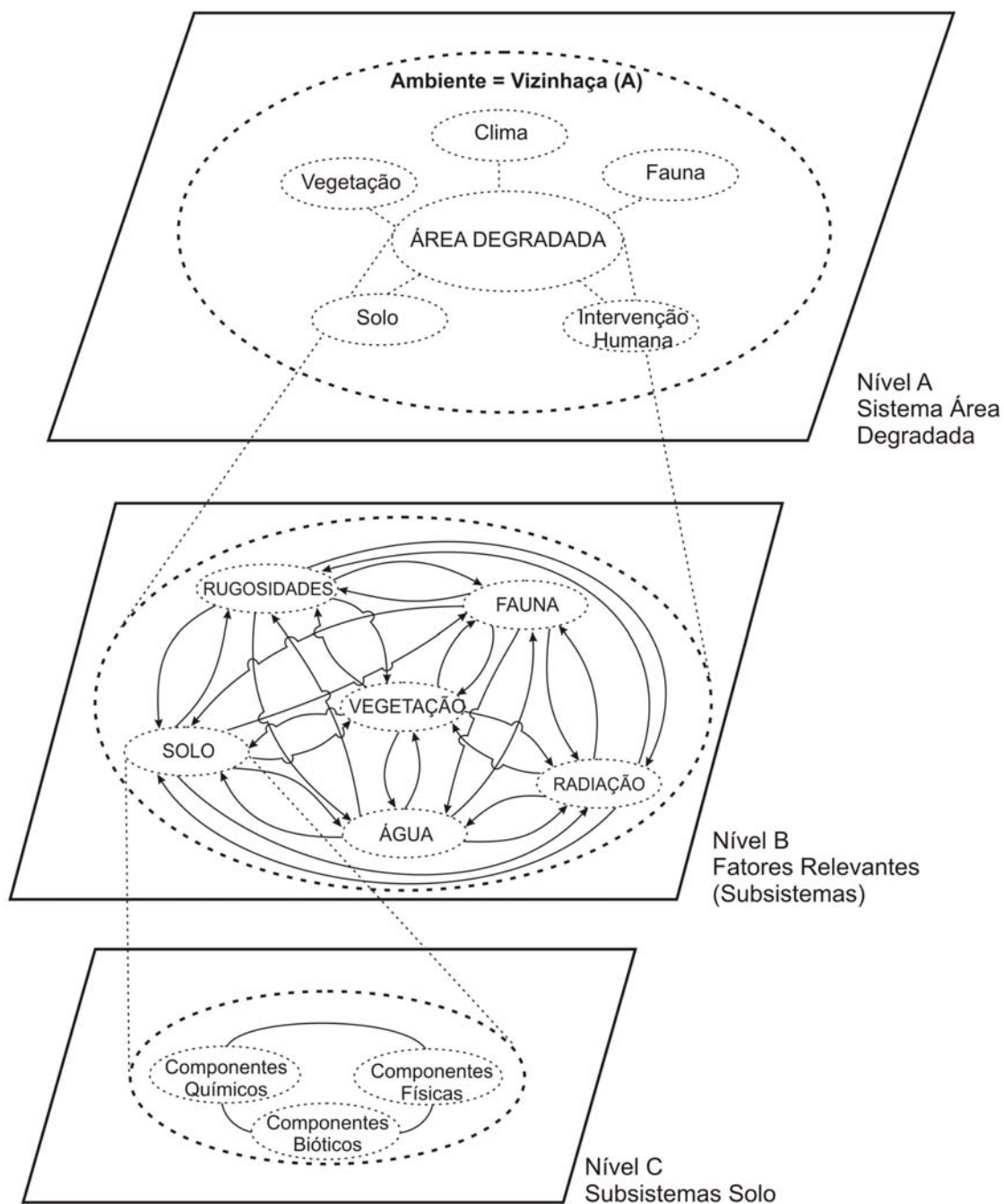


Figura 27 – Representação gráfica do sistema solo com ênfase nos componentes químicos, físicos e bióticos identificadas no nível C

Fonte: Aumond (2006).

i) Subsistema água

O subsistema água quando analisado no nível C (Figura 28) é representado pelos elementos: água do solo, água do ar, na forma de umidade, e água de escoamento superficial. As variáveis relacionadas ao subsistema água, em seus diversos estados, são: umidade gravimétrica do solo, umidade relativa do ar e água de escoamento superficial. O elemento umidade gravimétrica do solo é compartilhado com o subsistema solo e a umidade relativa do

ar é compartilhado com o subsistema microclima.

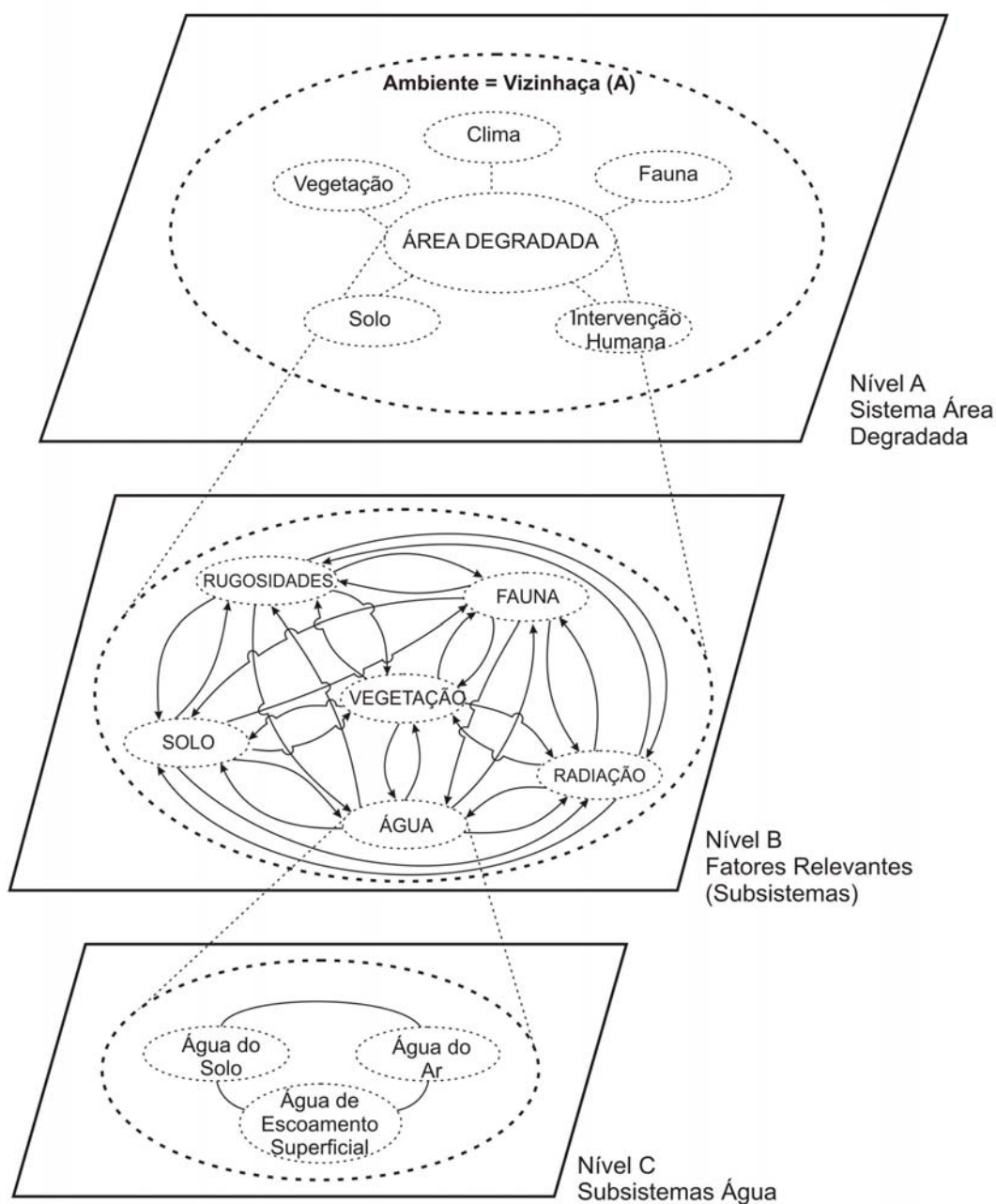


Figura 28 – O subsistema água quando analisado no nível C é representado pelos três componentes: água do solo, água do ar e água de escoamento superficial

Fonte: Aumond (2006).

6.11 EQUIPAMENTOS E MEDIDAS DOS INDICADORES ECOLÓGICOS ABIÓTICOS

Nesta seção são relacionados os parâmetros ecológicos abióticos medidos, os dispositivos experimentais utilizados, as normas e os métodos de ensaios físicos e análises químicas e a frequência das medidas das variáveis abióticas realizadas na pesquisa.

Foram monitoradas as seguintes variáveis abióticas que permitiram avaliar a evolução e suas interações com os componentes bióticos do sistema:

- a) oscilações do gradiente térmico do solo nos vários estádios da sucessão vegetal;
- b) variação da umidade, densidade e porosidade no solo ao longo do processo;
- c) coeficiente de infiltração, de escoamento superficial e conservação da água;
- d) perdas do solo;
- e) radiação solar (W/m^2), temperatura ambiente ($^{\circ}C$) e umidade relativa do ar (%);
- f) evolução das características físicas e químicas do solo.

Para a realização da pesquisa e obtenção das medidas e avaliação dos parâmetros ecológicos foi necessária a implantação de dispositivos experimentais no campo, que permitiram medições periódicas das variáveis físicas.

Para as medições da temperatura do solo ($^{\circ}C$), umidade relativa do ar (%), e radiação solar (W/m^2), foi instalado um sistema de aquisição de sinais acoplado a um computador tipo *notebook* (Foto 14). Os sensores são gerenciados por uma aparelhagem de *hardware* e um programa de *software* do Projeto Climus, desenvolvido no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas dos Materiais (LMPT) do Curso de Engenharia Mecânica da UFSC e adaptado especialmente para esta pesquisa. A incerteza da medição dos sensores é estimada em 5%.

Numa primeira etapa, nos primeiros meses, as medidas de temperatura do solo foram realizadas manualmente, tendo sido medidas as temperaturas ($^{\circ}C$) entre as 10 horas da manhã e pela tarde as medidas foram realizadas entre as 16 horas.

Após o primeiro ano da implantação do experimento, durante um período de aproximadamente 10 dias, durante vinte e quatro horas (dia e noite), nas quatro estações do ano, o sistema de aquisição de sinais acoplado a um computador *notebook* faz registro contínuo das variáveis, calculando automaticamente as médias, a cada 10 minutos, remetendo-as para um arquivo.



Foto 14 – Instalação da Central de Aquisição de Dados – 2005

Fonte: Aumond (2005).



Foto 15 – Placas de alumínio para identificação do número do sensor de temperatura e a seta indica a sua posição no solo – 2006

Fonte: Aumond (2006).



Foto 16 – Instalação do sensor de umidade relativa do ar – 2005

Fonte: Aumond (2005).



Foto 17 – Sensor de radiação solar – 2005

Fonte: Aumond (2005).



Foto 18 – Termômetro de temperatura do meio ambiente – 2005

Fonte: Aumond (2005).



Foto 19 – Canaletas de concreto semi-circulares para avaliação da conservação da água e perdas do solo – 2004

Fonte: Aumond (2004).

a) Temperatura do solo

As medidas de temperatura do solo foram realizadas com 16 sensores do tipo termistores-NTC, com incerteza da medida de 0,2°C. Em cada uma das parcelas foram distribuídos quatro sensores. Os sensores ímpares (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 e 15) mediram a temperatura do solo na profundidade de 2,5 cm e os sensores pares (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16) mediram a temperatura na profundidade de 7,5 cm (Foto 15).

b) Umidade relativa do ar

A umidade do ar foi medida, no mesmo sistema, porém com dois sensores de umidade do tipo *capacitivo*, com incerteza de 0,5% (Foto 16). Os sensores foram instalados a 1,3 metros de altura, conectados ao computador *notebook*, sendo um na área regular e outro na área irregular.

c) Radiação solar

O sistema de aquisição de sinais que registra a radiação solar de todo o espectro eletromagnético foi também medido por dois sensores do tipo *termo-elementos* com incerteza de 5% (Foto 17). Esses termo-elementos foram colocados próximos dos sensores da umidade do ar e realizaram as medidas automaticamente em W/m^2 .

d) Temperatura do ar

As temperaturas do meio ambiente foram realizadas por quatro termômetros de máximas e mínimas, colocados nas quatro parcelas na altura de 1,3 metros da superfície do terreno (Foto 18). As medidas, em graus centígrados, foram registradas manualmente com auxílio de termômetros da Incoterm que mediram as temperaturas máximas e mínimas ocorridas no ambiente (ar) a cada período de 24 horas nas quatro parcelas.

e) Conservação da água e perdas do solo

Para avaliar a conservação da água e perdas do solo (erosão) foram instaladas na base das duas parcelas com pendentes voltadas para oeste, canaletas de concreto semi-circulares com diâmetro de 30 centímetros, numa extensão de 15 metros cada, partindo do ponto situado mais à leste de cada parcela conforme ilustram a Figura 19 e Foto 20. Na base das canaletas de concreto foram instalados sistemas coletores, onde se coletaram os elementos transportados, interessando no caso, especificamente a água e o solo erodido. Os coletores consistem de quatro tanques pré-fabricados de concreto com 80 centímetros de diâmetro, o

primeiro funcionado como decantador das partículas maiores. O excesso de escoamento passa por divisores Geib de alumínio (Foto 20), cuja função é dividir o fluxo do escoamento e obter apenas uma fração; por isso possuem um número ímpar de janelas verticais. A água que passa pela janela central é conduzida para o tanque seguinte para ser coletada e as demais janelas conduzem a água para um sistema de deságüe (BERTONI; LOMBARDI, 1985). O período de duração desse experimento foi de março de 2004 a fevereiro de 2005.

Esses equipamentos permitiram a determinação da concentração dos sedimentos, as análises granulométricas do solo e o tratamento estatístico com a série de dados da precipitação (Estação pluviométrica de Doutor Pedrinho, cujo código é ANA-02649017), concentrações e escoamento superficial correlacionando-os com a precipitação registrada no período, evolução temporal dos volumes escoados, evolução temporal dos coeficientes de escoamento superficial e perdas do solo. Os resultados obtidos de precipitação, volume de água escoado, perdas de solo e análises granulométricas serviram de base para uma dissertação de mestrado do Curso de Engenharia Ambiental da FURB (SANTIAGO, 2005), executada sob a co-orientação do autor deste projeto.

f) Capacidade de infiltração

Para avaliar especificamente a capacidade de infiltração do solo aplicou-se o teste de infiltração de água no solo de acordo com a norma NBR-7229 da Associação Brasileira das Normas Técnicas (ABNT) de setembro de 1993 para ensaio de infiltração através de cova cilíndrica com emprego de trado (B-12). Foram realizados quatro testes de infiltração nas áreas regulares e irregulares.

g) Análises químicas e físicas do solo

Para monitorar a evolução química e física do solo foram programadas três fases de coletas de amostras para análises de solo dos primeiros 15 cm para cada parcela. A primeira coleta foi realizada em janeiro de 2004, a segunda foi realizada em janeiro de 2005 e a última coleta foi realizada em janeiro de 2006 (Foto 21). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos de Chapecó (SC) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). A análise química do solo foi efetuada de acordo com a metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Para avaliação dos componentes químicos do solo realizou-se a análise química do solo (P e K (mg/dm³), Matéria Orgânica (%), Al, Ca, Mg, Al+Al e CTC (cmolc/dm³)), saturação de bases e de Al (%), relações Ca/Mg, Ca/K, Mg/K). Nos componentes físicos determinou-se a densidade aparente, a porosidade total

(VTP), umidade gravimétrica e temperatura do solo.

As metodologias de coleta das amostras de solo, de preparo das mesmas e os cálculos das variáveis analisadas (Umidade Gravimétrica, Densidade, Volume Total de Poros, entre outras) foram executadas conforme descrito por EMBRAPA (1997).



Foto 20 – Detalhe dos coletores e dos divisores Geib – 2006

Fonte: Aumond (2006).



Foto 21 – Coleta de solo para análise das propriedades físicas – 2005

Fonte: Aumond (2005).

6.12 EQUIPAMENTOS E MEDIDAS DAS VARIÁVEIS BIÓTICAS

Nesta seção são apresentadas as metodologias e a periodicidade da coleta da flora e fauna e as medidas realizadas nas suas variáveis.

As medidas de biometria do censo (Foto 22), que abrangeram a totalidade dos indivíduos plantados de *Mimosa scabrella* (1.738 indivíduos), foram efetuadas nos meses de maio de 2004, dezembro de 2004 e fevereiro de 2006. Os indivíduos foram identificados com plaquetas de alumínio enumeradas de 01 à 1.738 (Foto 23).

As variáveis monitoradas foram as seguintes:

- a) taxa de sobrevivência das mudas;
- b) desenvolvimento das mudas tendo como parâmetros:
 - o diâmetro do caule a uma altura padrão de 5 centímetros do solo;
 - as medidas do diâmetro na altura do peito (DAP) foram realizadas uma única vez, no final do experimento (02/2006);
 - a altura total dos indivíduos, medida da base até o limite superior do último meristema apical;
 - a área da copa em sua porção mais desenvolvida;

- c) o índice de cobertura do solo;
- d) caracterização da composição florística (biodiversidade vegetal: ervas, arbustos e arbóreas).

A taxa de sobrevivência das arbóreas (*Mimosa scabrella*) foi verificada de acordo com o percentual de plantas sobreviventes. As mudas que pereceram foram substituídas até um mês após o plantio e o controle de pragas (formigas, lagartas, gafanhotos, etc.) foi executado manualmente através de produtos químicos (formicidas, larvicidas e inseticidas).

Para a obtenção do índice de cobertura do solo, foi utilizado o método de quadrantes. Em cada parcela (unidade amostral), foi lançada uma agulha metálica de aproximadamente 60 cm de comprimento. O ponto em que a agulha penetrou o solo representou o centro de um quadrado de 1 m², no qual por estimativa visual foi calculada a percentagem (%) da área coberta pela vegetação dos quatro quadrantes. Neste mesmo ponto foi medida a altura da vegetação que tocou a agulha. Esta agulha foi lançada 10 vezes em cada parcela a partir das laterais de cada parcela.

Para a avaliação da composição florística foram realizadas coletas das espécies encontradas no local de estudo, comparando-se o número de espécies (herbáceas, arbustivas e arbóreas) entre as parcelas regulares e irregulares. Essas coletas coincidiram com as medidas de biometria da espécie *Mimosa scabrella*.

Para a biometria das arbóreas, de cada planta foram tiradas três medidas: o diâmetro a 5 cm do solo com o auxílio de um paquímetro milimetrado e com uma repetição num ângulo de 90°, evitando desta forma, que a variação do formato do caule induza a futuros erros obtendo-se no final uma média $(n1 + n2/2)$ do diâmetro de cada planta; outra medida realizada foi a altura até o mais elevado meristema apical; e a área da copa, medindo-se o diâmetro na sua superfície mais desenvolvida e depois o diâmetro ortogonal a primeira medida e fazendo-se a média aritmética. Com o diâmetro médio obteve-se o raio que é multiplicado por πr^2 para se obter a área da copa.

Paralelamente, uma bióloga avaliou comparativamente, no período de um ano, a chegada da fauna de invertebrados nas quatro parcelas de pesquisa. As coletas foram realizadas sazonalmente nas seguintes datas, julho/2005, novembro/2005, janeiro/2006 e abril/2006. A riqueza e a diversidade da fauna de invertebrados variaram em função da oferta de recursos e atributos ambientais, permitindo utilizar os mesmos como ferramentas de monitoramento ambiental nos processos de recuperação.

O levantamento de invertebrados foi realizado com auxílio de armadilhas de bandejas com fundo amarelo, fixas a 1,3 metros de altura do solo. As armadilhas foram

distribuídas de 10 em 10 metros, sendo que nas duas áreas menores (leste) foram fixadas quatro armadilhas em cada área e nas áreas maiores (oeste) foram fixadas seis armadilhas em cada área.

As armadilhas permaneceram no campo, durante dois dias, e o conteúdo foi transferido para frascos contendo álcool 70% e encaminhado ao laboratório, onde as amostras foram triadas sob lupa. Em laboratório a fauna foi identificada em classes e ordens sendo registrado o número de espécimes de cada ordem.



Foto 22 – Biometria – coleta das medidas do diâmetro de *Mimosa scabrella* – 2003

Fonte: Aumond (2005).



Foto 23 – Identificação dos indivíduos de *Mimosa scabrella* através de plaquetas de alumínio numeradas – 2003

Fonte: Aumond (2003).

6.13 METODOLOGIA DE ANÁLISE

Nesta seção são apresentadas as metodologias de cálculos das variáveis abióticas e bióticas e o seu tratamento analítico.

a) Taxa de mortalidade das arbóreas (*Mimosa scabrella*)

Para o cálculo da taxa de mortalidade das arbóreas foi adotada a metodologia de Melo (2000). Foram consideradas as árvores que pereceram no intervalo de tempo, entre dois levantamentos. As árvores que pereceram do segundo levantamento em diante foram desconsideradas para as medidas.

A equação utilizada para o cálculo da taxa de mortalidade anual relativa, em percentagem (MELO, 2000), foi a seguinte:

$$Tm = \left\{ 1 - \left[\frac{(n_o - nm)}{n_o} \right]^{1/\Delta t} \right\} * 100$$

Onde:

- a) T_m = taxa média anual de mortalidade,
- b) n_0 = número de indivíduos no primeiro levantamento;
- c) n_m = número de indivíduos mortos da população inicial, após o período entre os levantamentos;
- d) Δt = média dos intervalos de tempo, em anos, entre os dois levantamentos. Foram calculadas as taxas de mortalidade e de recrutamento para cada parcela.

O cálculo da área da copa de cada planta foi obtido aplicando as duas medidas do diâmetro aplicadas nas seguintes equações:

$$\frac{Dm + dm}{4} = r$$

Onde:

- a) Dm = diâmetro maior;
- b) dm = diâmetro ortogonal à Dm .

$$S = \pi . r^2$$

Onde:

- a) r = raio;
- b) π = 3,14.

Para avaliar diferenças significativas de tamanhos (diâmetro, altura e diâmetro de copa), número de espécies espontâneas colonizadoras foi utilizado o teste “t” para amostras independentes com nível de significância de 5%, conforme Beiguelman (2002). Segundo Beilguelman (2002) a “significância estatística” ao nível de 5% de um determinado experimento seria o risco que o pesquisador corre em rejeitar uma hipótese verdadeira. Este nível deve ser estabelecido antes da análise dos dados e é usualmente fixado em 5%. Isto quer dizer também, que se o valor de “p” mostrado no teste estatístico for maior que $p = > 0,05$ ($p \geq 0,051\%$) as amostras não possuem diferença entre seus valores (altura, diâmetro, etc.). Um resultado é estatisticamente significativo quando as diferenças encontradas são grandes o suficiente para não serem atribuídas ao acaso. Em muitas áreas de pesquisa, o nível-p de 0,05 é costumeiramente tratado como um “limite aceitável” de erro.

A expressão significância estatística de probabilidade indica apenas que o valor calculado pelo teste (qualquer que seja este) só poderia ser encontrado, por simples variação natural do acaso, no máximo 5 vezes em 100 amostras aleatórias semelhantes. No caso da significância ao nível de 1%, o valor encontrado pelo teste seria ainda mais difícil de obter por

mero acaso, pois seria da ordem de 1 em 100 amostras do mesmo tipo.

A significância estatística de um resultado é uma medida estimada do grau em que este resultado é “verdadeiro” (no sentido de que seja realmente o que ocorre na população, ou seja, no sentido de “representatividade da população”). O valor do nível-p representa um índice decrescente da confiabilidade de um resultado. Quanto mais alto o nível-p, menos se pode acreditar que a relação observada entre as variáveis na amostra é um indicador confiável da relação entre as respectivas variáveis da população.

b) Levantamento da composição florística

A caracterização da composição florística foi realizada através da elaboração de uma lista das espécies encontradas no local de estudo, comparando-se o número de espécies (herbáceas, arbustivas e arbóreas) entre as parcelas regulares e irregulares. Foram calculados os Índices de Similaridade de Sørensen (MÜLLER-DOMBOIS; ELLEMBERG, 1974) e de Jaccard (MAGURRAN, 1988):

a) Sørensen $C_S = 2j / (a+b)$;

b) Jaccard $C_J = j / (a+b-j)$.

Em que:

a) j = número de espécies comuns entre as duas áreas;

b) a = número de espécies exclusivas da área “A”;

c) b = número de espécies exclusivas da área “B”.

O período de coletas de amostras férteis ou não de espécies vegetais que ocorreram espontaneamente na área foi o mesmo período das coletas de dados de altura, diâmetro, área da copa de *Mimosa scabrella* e da cobertura do solo. As amostras foram herborizadas no Laboratório de Botânica da Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), e identificadas com auxílio de bibliografia especializada e taxonomistas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) e da FURB. As amostras férteis foram incorporadas ao Herbário FURB.

c) Levantamento faunístico

Foram calculados os seguintes índices faunísticos: riqueza, abundância, diversidade, dominância, equidade e rarefação para as quatro áreas separadamente e comparados as áreas regulares e irregulares de 820 m² e 1110 m² entre si.

A riqueza refere-se ao número de ordens identificadas em cada parcela. A abundância refere-se ao número de indivíduos por unidade de área avaliada e varia no espaço

(área) de uma comunidade para outra e no tempo em função das flutuações populacionais. A diversidade determina a representação dos indivíduos de cada ordem nas comunidades e é determinada pela equação: $a = (S-1)/LN$.

Onde:

S = nº de espécies de cada ambiente;

LN = log neperiano do nº de indivíduos de cada ambiente.

A eqüidade indica como os indivíduos estão distribuídos entre as ordens. A dominância é a proporção dos organismos mais abundantes de um talhão, calculada para cada ambiente.

As análises foram realizadas usando o pacote estatístico PAST (HAMMER *et al.*, 2001). Foram analisadas a diversidade (índice de Shannon), dominância e equidade. Os índices de Shannon foram comparados através do teste t modificado (MAGURRAN, 1988). Para avaliar a variabilidade da riqueza em função das coletas (riqueza x amostras) foram construídos os gráficos de rarefação. A análise dos índices faunísticos, auxiliado pelo modelo ecológico proposto permitiu identificar as relações da fauna com a recuperação ambiental da área.

d) Levantamento dos elementos e fatores abióticos

A análise da série de dados da precipitação, da concentração de sedimentos e escoamento superficial foi realizada do período de julho de 2004 à janeiro de 2005 e foram analisados estatisticamente através de determinação de valores característicos, tais como valores médios, mínimos e máximos, e evoluções temporais das concentrações de sedimentos, dos volumes precipitados e escoados superficialmente nas parcelas experimentais. A avaliação da conservação da água e do solo no experimento ajudou avaliar o índice de internalização da matéria no sistema. Integrado com os demais elementos e fatores ecológicos que foram avaliados entre eles a evolução do gradiente térmico do solo e do ambiente, a evolução da variação da umidade do solo e da taxa de infiltração da água, a evolução da radiação solar e da umidade relativa do ar e a evolução das características químicas e físicas do solo permitiu acompanhar a evolução da recuperação ambiental da área.

Para avaliar diferenças significativas das variáveis abióticas foi utilizado o teste “t” para amostras independentes com nível de significância de 5%, conforme Beiguelman (2002).

A análise integrada das interações, de acordo com o modelo de sistema ecológico proposto (Figura 23), permitiu avaliar comparativamente com auxílio das equações, taxas, índices e o tratamento analítico os dois métodos de recuperação e identificar os pontos de

alavancagem do processo de recuperação ambiental.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 VARIÁVEIS ABIÓTICAS

Nesta seção são apresentados os resultados e a discussão das variáveis: radiação, temperatura do solo, temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, índice de conservação da água, perdas do solo e das análises físicas e químicas do solo.

7.1.1 Radiação

A análise dos dados da radiação solar no verão, inverno, primavera e outono de 2005 e do verão de 2006 evidencia o efeito da vegetação na incidência da radiação solar nas duas áreas (regular e irregular). Verifica-se um aumento da diferença da radiação entre as duas áreas, ao longo do tempo, seguindo uma tendência definida pelo estabelecimento da vegetação (Tabela 1) de forma que a radiação nas áreas irregulares é menor desde o verão de 2005, após um ano da implantação do experimento. Nesse período a média da radiação nas áreas irregulares variou de 28,90 W/m² a 212,62 W/m² e nas áreas regulares variou de 93,54 W/m² a 405,77 W/m². No entanto, as diferenças tornam-se estatisticamente significativas a partir das medidas efetuadas no inverno de 2005, e continuam assim até as últimas medidas realizadas no verão de 2006 (Tabela 1 e Gráficos 14 e 15).

Tabela 1 – Média da radiação solar (W/m²) – fev. 2005 a fev. 2006

PERÍODO	RADIAÇÃO SOLAR (W/m ²)		P _{CALC}
	Regular	Irregular	
02 a 07/02/ 2005	170,60	150,02	0,1466
13 a 18/02/2005	243,22	212,05	0,0938
14/02/2005	248,13	212,62	0,4261
14 a 20/07/2005	93,54	28,90	5,57x10 ⁻²⁵
02 a 08/11/2005	405,77	171,32	8,37x10 ⁻¹⁰
06/11/2005	336,84	120,19	1,95x10 ⁻⁰⁶
22 a 26/02/2006	334,79	84,62	2,74x10 ⁻³⁵

Fonte: O autor (2007).

Nas medidas realizadas em fevereiro de 2005 predominam picos de radiação acima de 1000 W/m² e com certa frequência os picos ultrapassam os 1500 W/m² (Gráficos 1, 2 e 3).

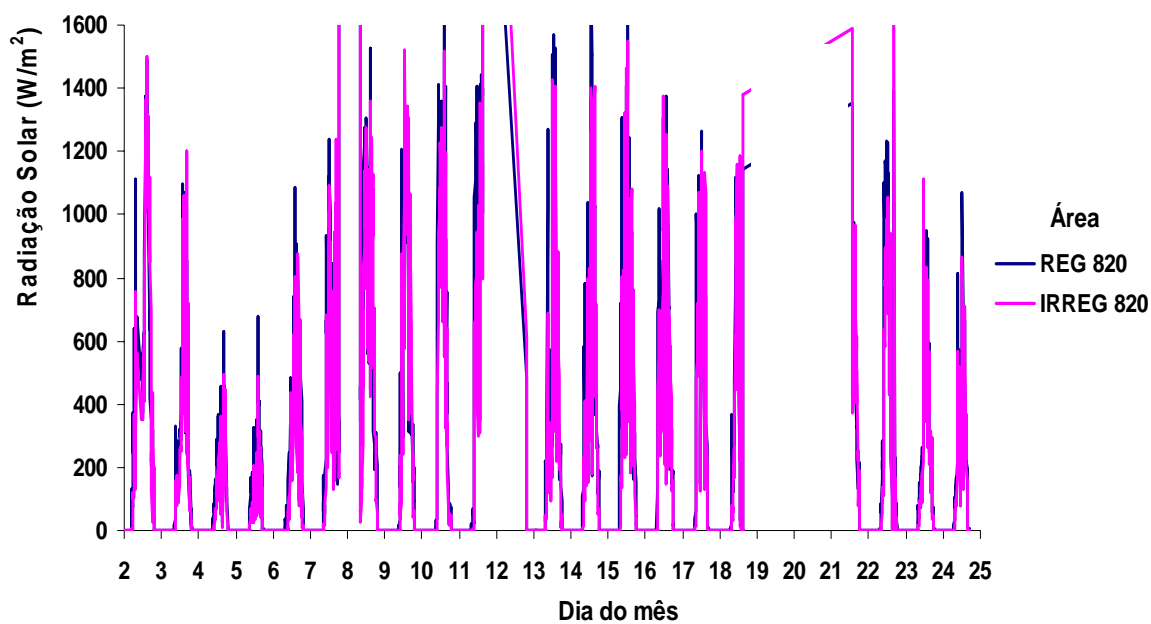


Gráfico 1 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular 820 m^2 e irregular 820 m^2 – 02 a 25 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

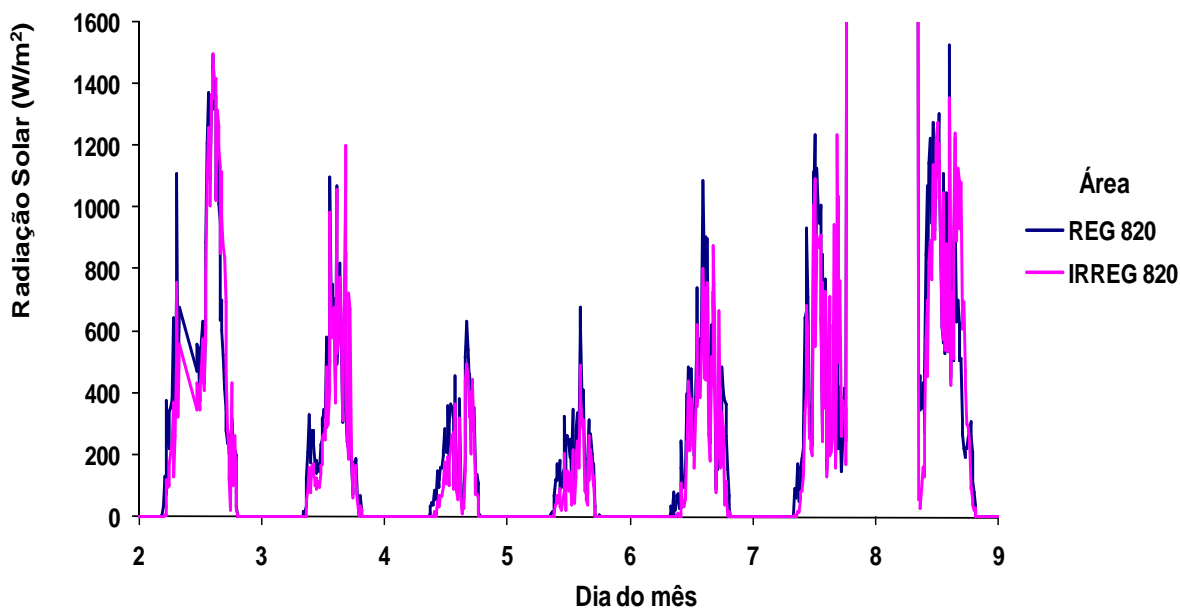


Gráfico 2 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular 820 m^2 e irregular 820 m^2 – 02 a 07 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

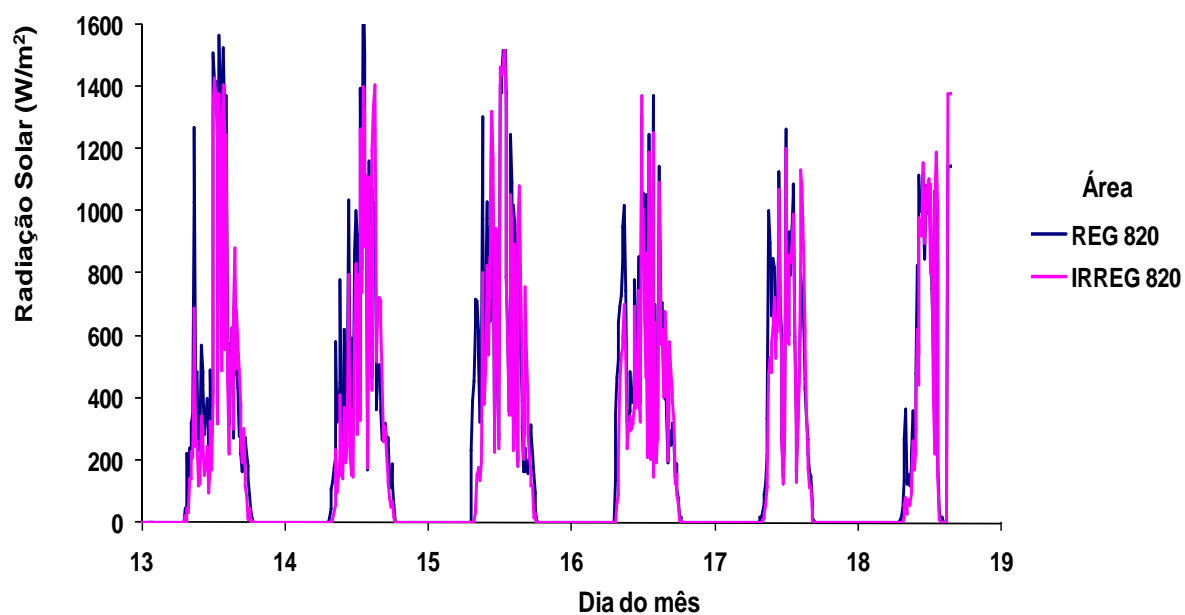


Gráfico 3 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular 820 m^2 e irregular 820 m^2 – 13 a 18 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

No entanto, a partir de julho de 2005 as diferenças são significativas com os maiores valores ocorrendo na área regular (Gráfico 4), e em fevereiro de 2006 podem ultrapassar os 1000 W/m^2 (Gráfico 5).

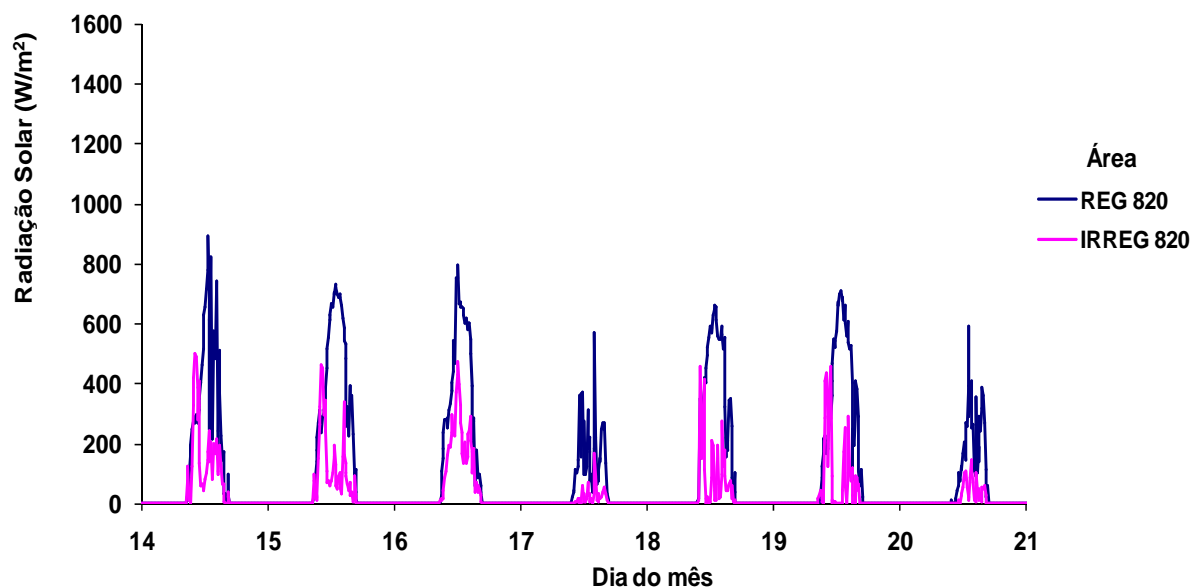


Gráfico 4 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular 820 m^2 e irregular 820 m^2 – 14 a 20 jul. 2005

Fonte: O autor (2007).

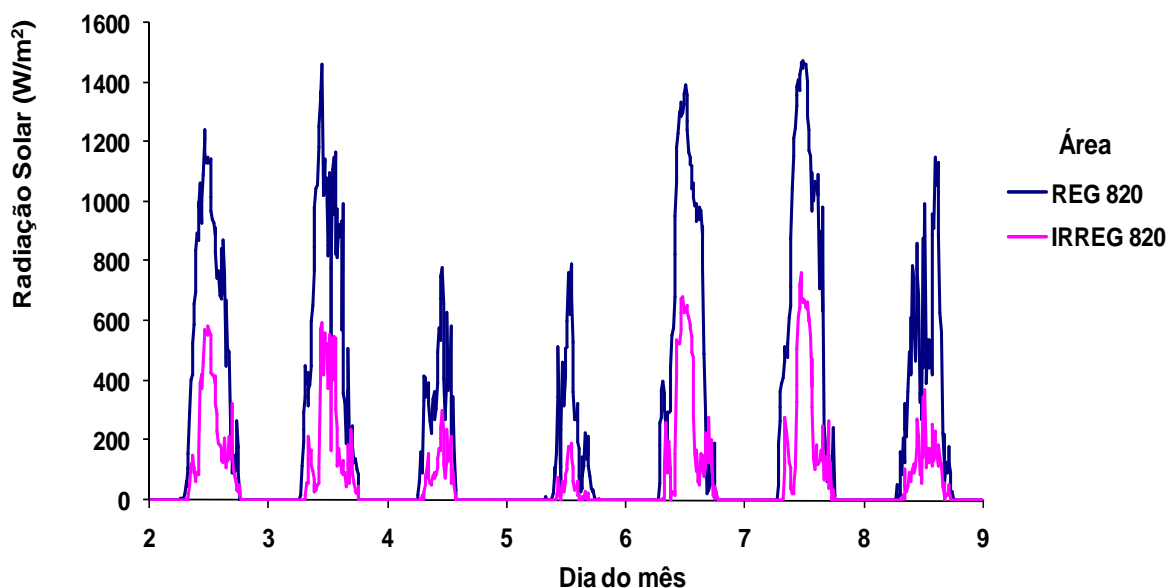


Gráfico 5 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas Regular 820 m^2 e Irregular 820 m^2 – 02 a 08 nov. 2005

Fonte: O autor (2007).

A radiação solar ao incidir nas áreas irregulares é drasticamente reduzida nos estratos inferiores da vegetação, à medida que aumenta a densidade do dossel. O maior desenvolvimento da vegetação provoca maior sombreamento, que resulta em menor incidência de radiação no estrato arbóreo inferior em comparação com a área regular. Outra tendência observada é o fato de que as curvas da radiação da área irregular, a partir do mês de fevereiro de 2005, se deslocam, já no período matutino, mais para a direita da curva da radiação da área regular, fato mais facilmente perceptível nos Gráficos de radiação em escala mais detalhada (Gráficos 6, 7 e 8). Significa que o maior desenvolvimento da vegetação (altura e biomassa) na área irregular tem a tendência de retardar temporalmente a incidência da radiação solar em relação à área regular. As quedas bruscas da radiação, registradas nos gráficos, durante o dia, resultam freqüentemente do efeito da passagem das nuvens que projetam suas sombras sobre a área de pesquisa.

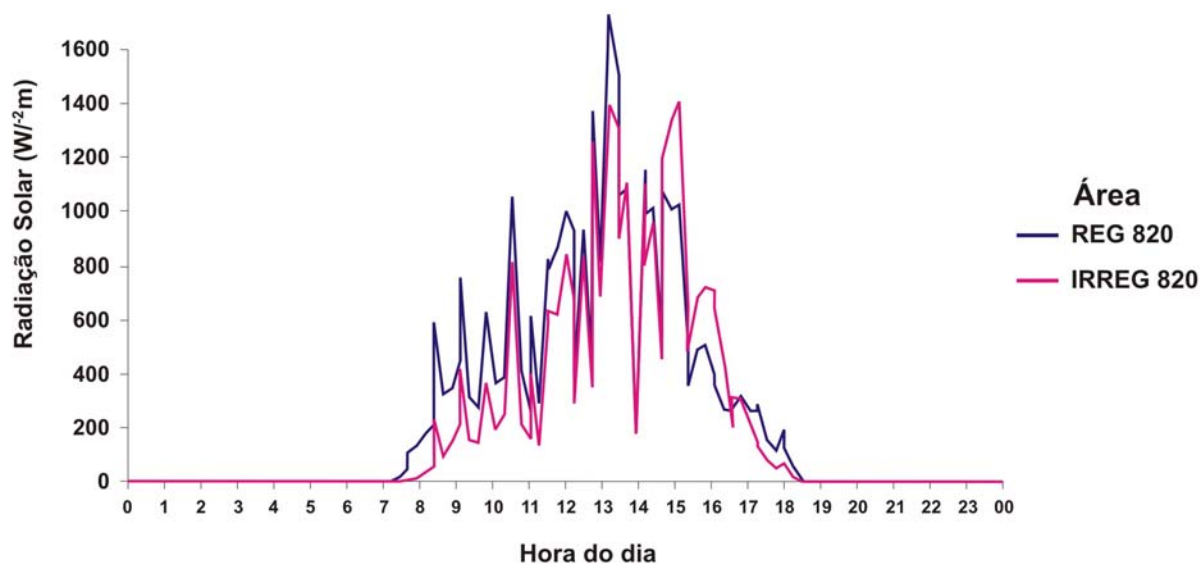


Gráfico 6 – Radiação solar (W/m²) nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m² – 14 fev. 2005
Fonte: O autor (2007).

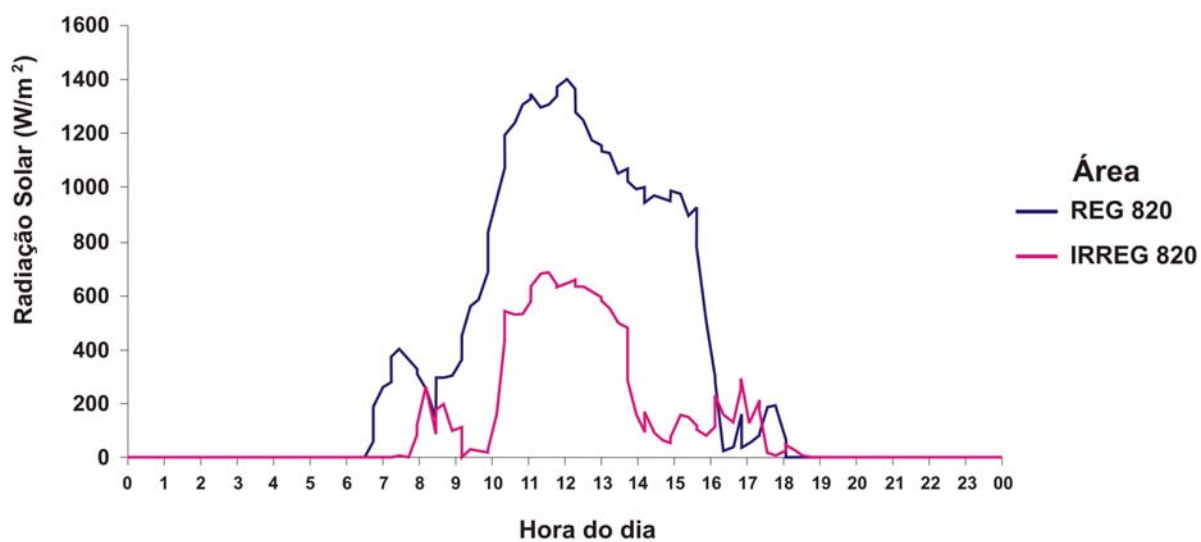


Gráfico 7 – Radiação solar (W/m²) nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m² – 06 nov. 2005
Fonte: O autor (2007).

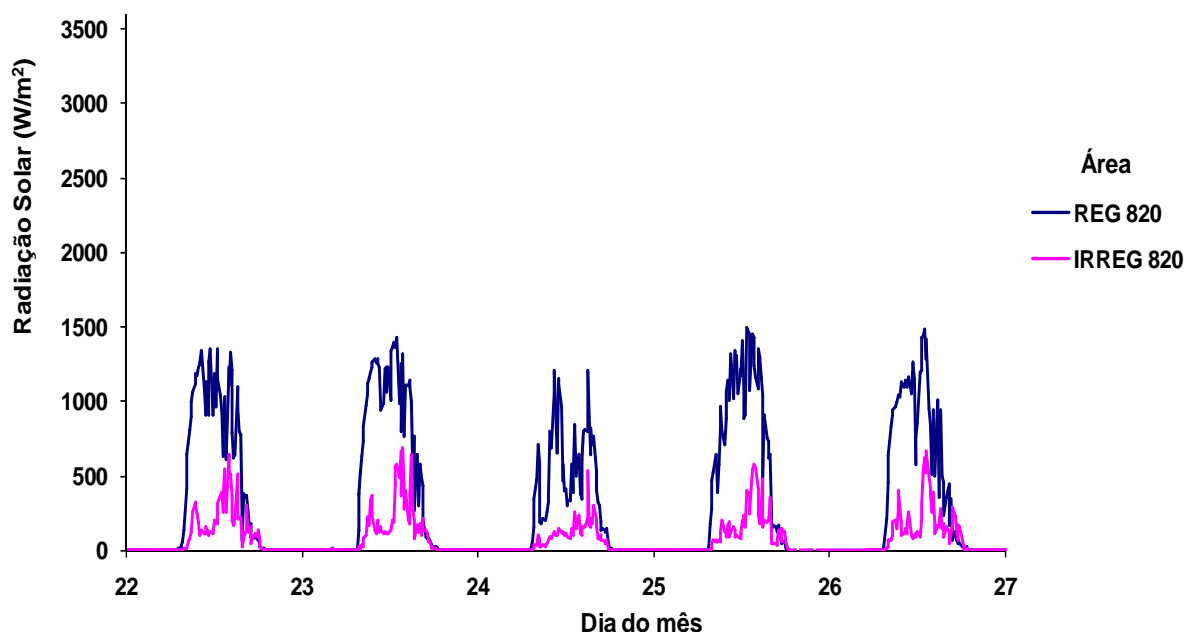


Gráfico 8 – Radiação solar (W/m^2) nas áreas regular 820 m^2 e irregular 820 m^2 – 22 a 26 fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

No entardecer ocorre uma inversão, inclusive com alguns picos de maior radiação na área irregular. Verifica-se também que, isso é resultante da variação diária da incidência da radiação solar sobre as áreas provocada pela rotação da terra. Isto se explica porque a área irregular com vegetação mais desenvolvida se localiza a oeste da área regular e projeta sua sombra no entardecer sobre os sensores desta.

Quando se analisa os Gráficos da radiação em dias individualizados (Gráficos 6 e 7) percebe-se mais facilmente que a curva da radiação nas áreas irregulares é inferior durante o dia como reflexo do efeito da proteção desenvolvida pela maior superfície da área foliar das plantas. Em compensação, à noite a perda da energia acumulada (calor) é menor devido às trocas radiativas (Gráficos 6 e 7). Este fato é relevante para a amenização das condições microclimáticas e favorecimento de condições mais amenas da temperatura do ambiente e do solo, reduzindo assim o consumo de água pelas plantas através da evapotranspiração. Pezzopane *et al.* (2004) ao comparar o saldo da radiação em área aberta (campo) com um fragmento florestal da Mata Atlântica, localizada em Viçosa (MG) em dia com céu limpo, registrou 490 e 690 W/m^2 para o campo e menos de 200 W/m^2 para a floresta no mês de setembro de 1999 e janeiro de 2000 respectivamente, demonstrando, como o esperado, uma maior disponibilidade energética no verão.

As avaliações microclimáticas, notadamente da radiação, comparando áreas em processo de recuperação são importantes para mostrar as alterações ambientais ocorridas ao longo do processo. De acordo com Giambelluca *et al.* (1997) e Holl (1999 *apud* PEZZOPANE, 2004), essas informações são importantes para entender a regeneração natural em áreas degradadas e até em estudos sobre mudanças microclimáticas resultantes de desmatamentos. Estudos de Ramos e Santos (2006), em fragmento florestal da floresta Atlântica mostraram que todas as variáveis locais microclimáticas variaram temporalmente. Outros autores (MURCIA, 1995; RESTREPO; VARGAS, 1999) mostraram variações espaciais e temporais nas variáveis microclimáticas. Ramos e Santos (2006) sugerem que a variabilidade dos gradientes microclimáticos no interior dos fragmentos florestais são similares àqueles da borda da floresta. No entanto, os autores inferem que um número insuficiente de amostragem foi a razão para não esclarecer a heterogeneidade microclimática nos fragmentos estudados. Outros fatores seriam causadores de heterogeneidade microclimática em fragmentos florestais, entre eles o tipo de vegetação a idade e a proximidade da borda da floresta.

De acordo com Caldwell *et al.* (1998) o efeito da radiação solar ultravioleta nos ecossistemas terrestres é pouco conhecido. As mudanças no ambiente abiótico geram efeitos indiretos sobre as plantas tais como competição e função das plantas nos ecossistemas e aumento ou diminuição de susceptibilidade ao ataque de insetos. Pouca atenção tem sido dada sobre o efeito do aumento da radiação solar (UV-B) sobre a performance dos ecossistemas, competição entre plantas, mudanças das populações microbianas, decomposição da biomassa, entre outros. De acordo com esses autores, muitos dos atributos inerentes às funções dos ecossistemas podem ser afetados pela mudança da radiação solar tais como produção da biomassa, flutuações nas populações das plantas e animais, mudanças no ciclo dos nutrientes, entre outros. Os estudos do efeito do aumento da radiação solar sobre os ecossistemas se iniciaram há poucos anos e menos de 5% desses estudos foram executados em condições de campo e, menos ainda, sobre as plantas das florestas (CALDWELL *et al.*, 1998). Por isso a importância de se conhecer melhor as interações entre a radiação solar e as plantas e como esses componentes interagem no processo de recuperação ambiental. Na presente pesquisa ficou evidente que a relação entre vegetação e radiação solar, não é uma relação linear simples de causa e efeito, mas tem um efeito de retro-alimentação em que ambos componentes interagem mutuamente de forma complexa, dinâmica e heterogênea ao longo do processo da sucessão vegetal. A análise da comparação da média da radiação solar com o desvio padrão (Gráfico 9) evidencia claramente o comportamento não linear e heterogêneo ao

longo do processo da sucessão vegetal e a maior amenização da radiação solar nas áreas irregulares.

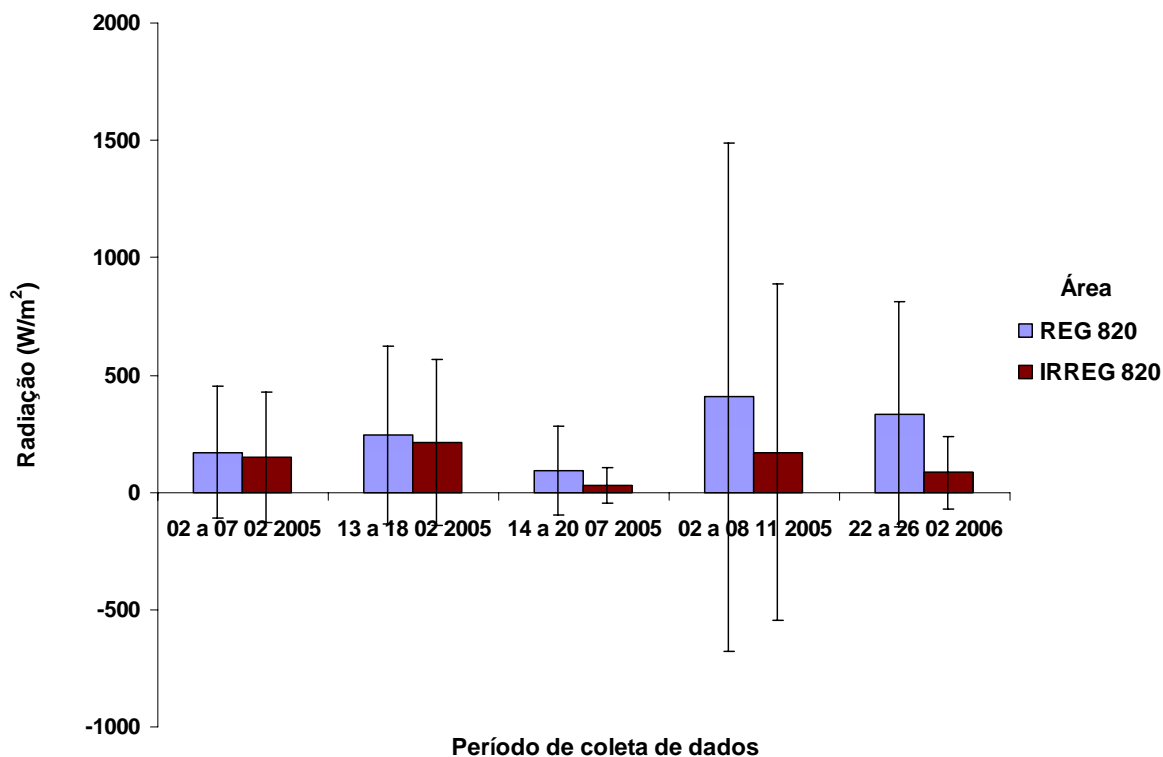


Gráfico 9 – Comparativo das médias da radiação solar (W/m^2) entre os dois tratamentos do solo nas áreas regular e irregular no decorrer da pesquisa – 2005-2006

Fonte: O autor (2007).

O ecossistema é uma máquina termodinâmica que dissipa energia (RICKLEFS, 1996). Esse aspecto é relevante em recuperação de áreas degradadas porque a radiação solar, inclusive na faixa do espectro eletromagnético visível, ao refletir numa superfície plana e regular (e.g. água), sofrerá uma reflexão parcial, retornando ao meio, conforme ilustra a Figura 29a e numa superfície irregular a radiação sofrerá o fenômeno da difusão conforme ilustrado hipoteticamente na Figura 29b (Figura 29).

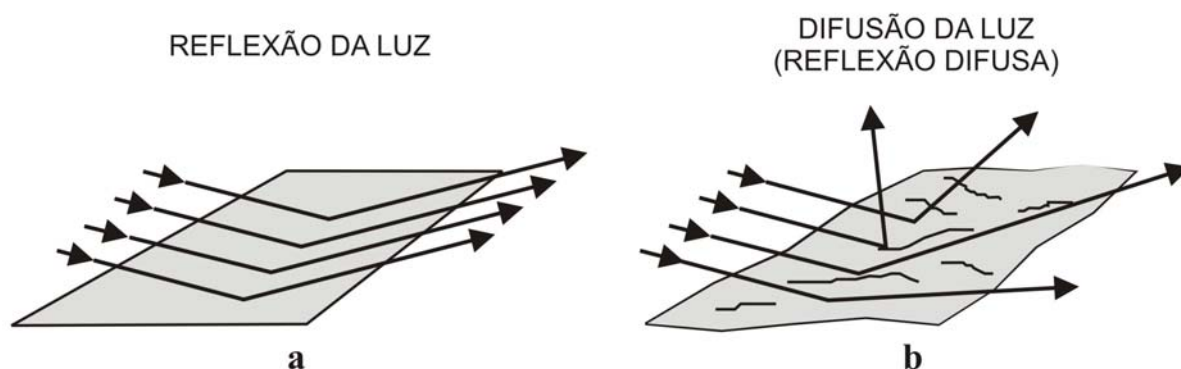


Figura 29 – Desenho esquemático hipotético do fenômeno de reflexão da luz em uma superfície regular (a) e de difusão da luz em uma superfície irregular (b)

Fonte: O autor (2007).

A manipulação de influências locais como inclinação de taludes determina condições específicas de microclima, afetando o ângulo de incidência da radiação solar, que pode interferir em fatores como água, luz e calor (JENNY, 1994 *apud* ABRAHÃO; MELLO, 1998).

De acordo com Vivan (1998) as variações do relevo influenciam as interações entre a radiação solar, a umidade e os nutrientes, criando oportunidades diferenciadas para as espécies. A intensidade de radiação e o ângulo de incidência da radiação solar constituem elementos críticos para os vegetais nos trópicos.

Assim numa superfície irregular, rugosa, preparada adequadamente, a radiação sofrerá uma reflexão difusa e diferenciada pela manhã e pela tarde, diminuindo em cada ponto da superfície o tempo de exposição e o nível de intensidade luminosa acima do ponto de saturação, conforme indicado na Figura 30b. A produção primária (fotossíntese) requer geralmente uma condição de luz pouco intensa. As variações diárias da intensidade da luz serão minimizadas, aumentando no decorrer do dia o tempo de exposição dos pigmentos das plantas naquela faixa de intensidade de luz entre o ponto de compensação e o ponto de saturação, estimulando, portanto, um aumento diário de captura da energia luminosa, utilizada na realização da fotossíntese. Por outro lado, a temperatura é um fator limitante nos processos fisiológicos e na própria realização da fotossíntese, porque pode acelerar ou inibir as reações metabólicas. Nas superfícies irregulares, o gradiente térmico é reduzido devido ao menor tempo de exposição direta do espectro eletromagnético (Figuras 30b e 30c) e devido ao processo de difusão da luz mantendo-o numa faixa mais constante e propício ao metabolismo das plantas (AUMOND, 2003), confirmado na presente pesquisa (Figura 30).

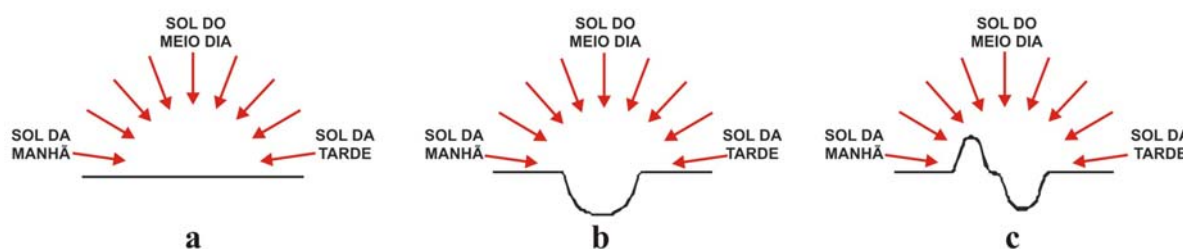


Figura 30 – Desenho esquemático do efeito de variação da incidência da radiação solar no decorrer do dia. Na superfície regular (a) a troca de calor se dá durante todo o dia enquanto houver radiação solar. Nas superfícies irregulares (b e c) o tempo de exposição direta à radiação solar, por unidade de área, será menor

Fonte: O autor (2007).

7.1.2 Temperatura do solo

As medidas de temperatura do solo no verão e inverno de 2004 (01/2004 a 06/2004) foram realizadas manualmente em dois horários específicos: 9 e 14 horas. A partir de 2005 (02/02/2005) as temperaturas do solo foram automaticamente registradas pelo sistema de aquisição de sinais de forma contínua durante as vinte e quatro horas do dia. Os termômetros de números pares mediram a temperatura do solo a uma profundidade de 2,5 centímetros e os de números ímpares mediram a temperatura na profundidade de 7,5 cm. Alguns termômetros apresentaram problemas técnicos e por isso foram desconsiderados no registro e na análise. Na seqüência são apresentados os resultados e realizada a discussão abordando as variações temporais da temperatura do solo nas diversas estações do ano e no final é realizada uma síntese comparando as diferenças de temperatura entre os dois tratamentos.

7.1.2.1 Verão e inverno de 2004 (01/2004 à 06/2004)

Pela análise da temperatura média do solo das duas profundidades (2,5 e 7,5 cm) na fase inicial do experimento realizadas mensalmente (janeiro até junho), verificou-se que não houve diferenças significativas nas temperaturas do solo (Tabela 2). As temperaturas médias nas duas profundidades do solo (2,5 cm e 7,5 cm), também não mostraram diferenças entre si.

Tabela 2 – Médias mensais de temperatura do solo (°C) nas duas profundidades (2,5 cm e 7,5 cm) nas áreas regulares e irregulares – jan.-jun. 2004

PERÍODO	TEMPERATURA MÉDIA DO SOLO (°C)					
	9 horas			14 horas		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Janeiro	33,38	32,70	0,476	25,73	25,43	0,853
Fevereiro	32,84	33,20	0,565	24,49	24,55	0,928
Março	18,58	18,72	0,701	28,28	28,57	0,768
Abril	20,69	20,45	0,768	25,32	25,00	0,607
Maiο	11,91	12,16	0,598	17,62	17,62	0,994
Junho	10,98	11,41	0,364	18,41	18,18	0,639

Fonte: O autor (2007).

Pelos resultados supõe-se que as rugosidades do terreno e a vegetação estabelecida até junho de 2004, não apresentaram efeitos diferenciais devido ao pequeno intervalo de tempo, para propiciar diferenças significativas de temperatura do solo entre os dois tratamentos, como ocorreu nos períodos subseqüentes.

7.1.2.2 Verão de 2005 (02/02/2005 à 18/02/2005)

Nos gráficos de temperaturas das áreas de 820 m² (Gráficos 10 e 11) e 1100 m² (Gráficos 12 e 13), apresentados em separado para facilitar a visualização, nota-se como esperado um comportamento de padrão rítmico, em que as temperaturas mínimas ocorrem pela madrugada e os máximos de temperaturas ocorrem no meio da tarde à partir do pico da radiação solar. As temperaturas do solo, em geral apresentam uma tendência de serem mais amenas nas áreas irregulares do que nas áreas regulares, salvo raras exceções em alguns momentos da tarde como no caso do termômetro 16 (Gráfico 11 e 13). As temperaturas mais amenas se devem às rugosidades do terreno nas áreas irregulares e ao isolamento térmico desenvolvido pela maior cobertura vegetal nesta etapa da recuperação ambiental. Pela mesma razão, com freqüência se observa que na fase de maior aquecimento, o solo nas áreas regulares aquece e resfria com maior velocidade em relação àquele das áreas irregulares. Nas áreas regulares o solo acumula maior quantidade de calor na fase de aquecimento e também apresenta maior perda de calor no entardecer. Esses fatos evidenciam uma amenização da condição abiótica (temperatura) provocada pela biota (vegetação).

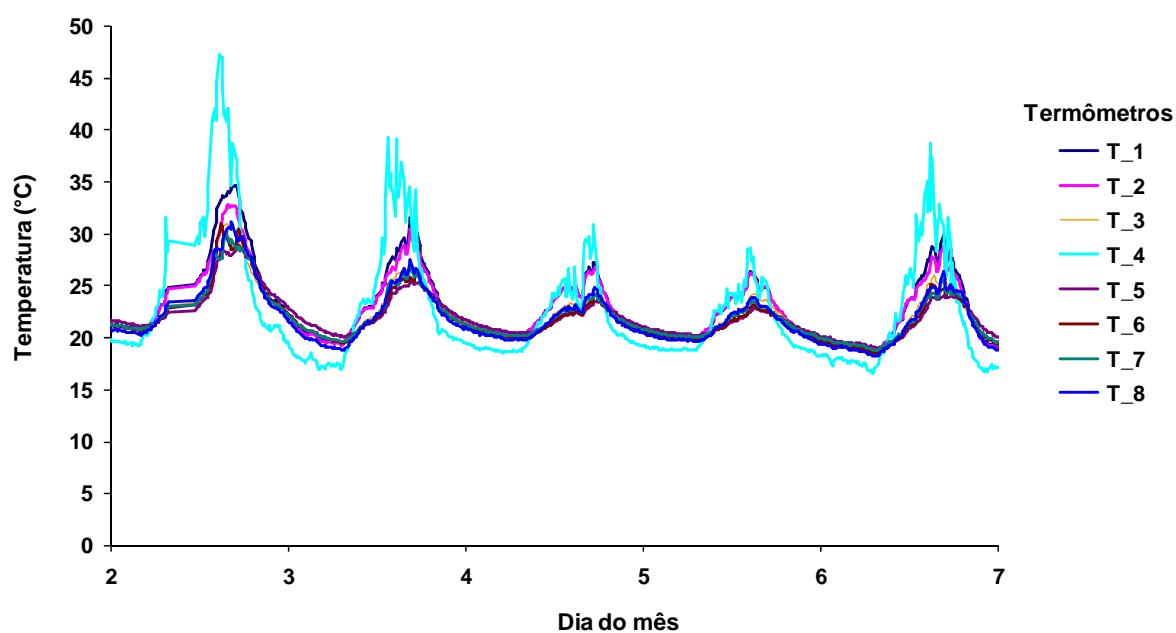


Gráfico 10 – Temperatura do solo (°C) nas duas profundidades (2,5 cm e 7,5 cm) nas áreas regular 820 m² (T_1 a T_4) e irregular 820 m² (T_5 a T_8) – 02 a 06 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

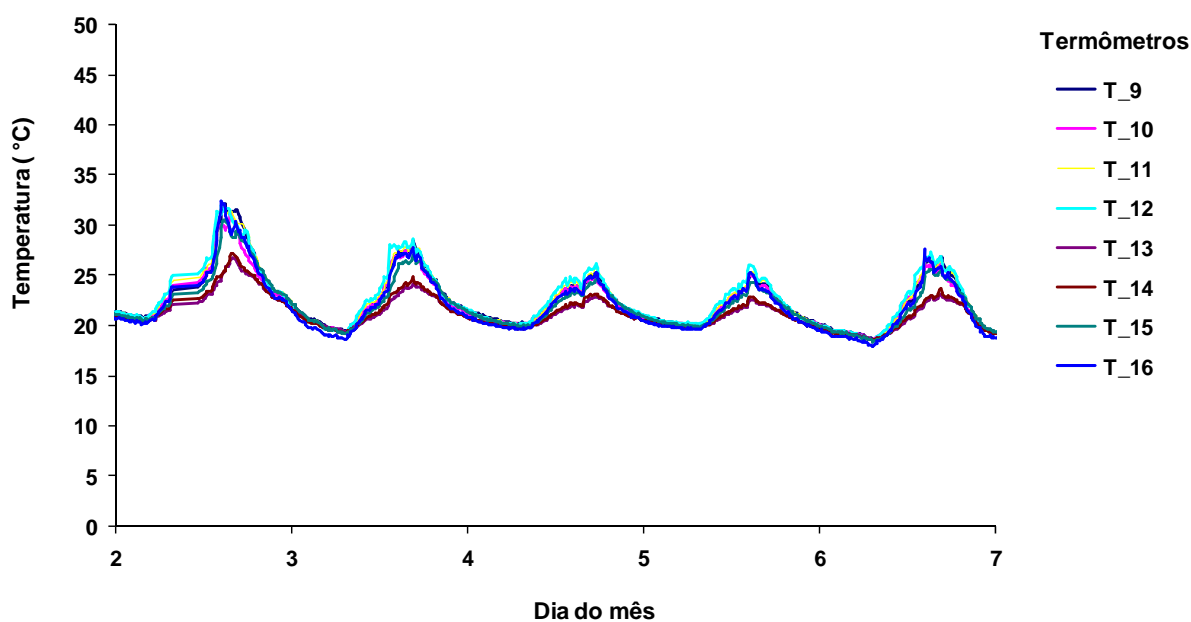


Gráfico 11 – Temperatura do solo (°C) nas duas profundidades (2,5 e 7,5 cm) nas áreas regular 1110 m² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m² (T_13 a T_16) – 02 a 06 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

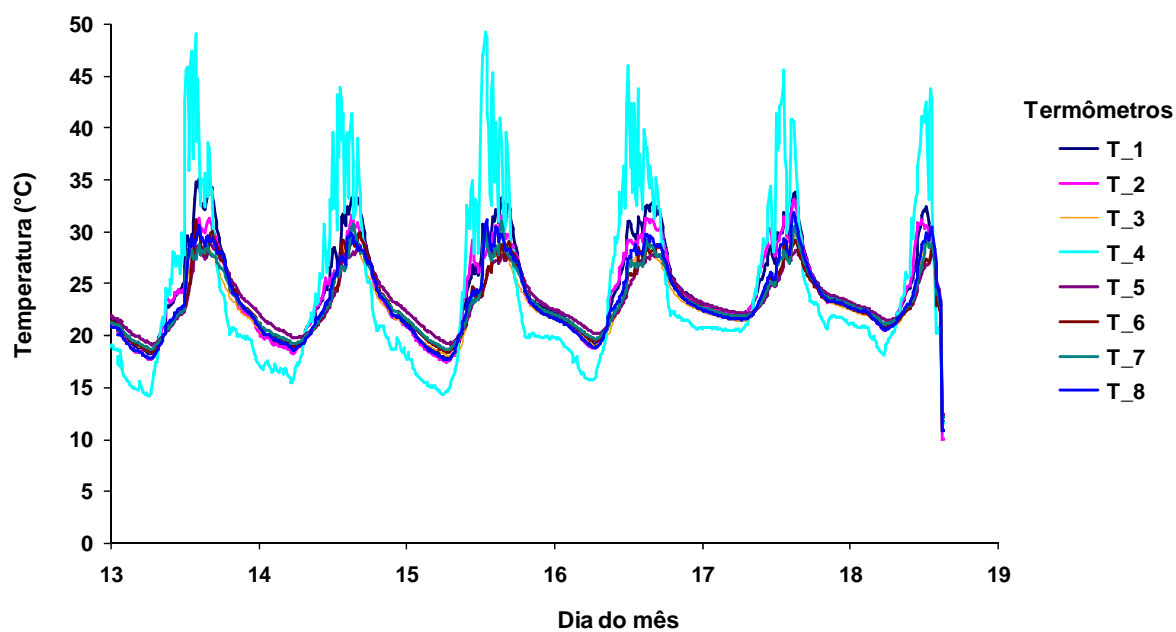


Gráfico 12 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 820 m² (T_1 a T_4) e irregular 820m² (T_5 a T_8) – 13 a 18 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

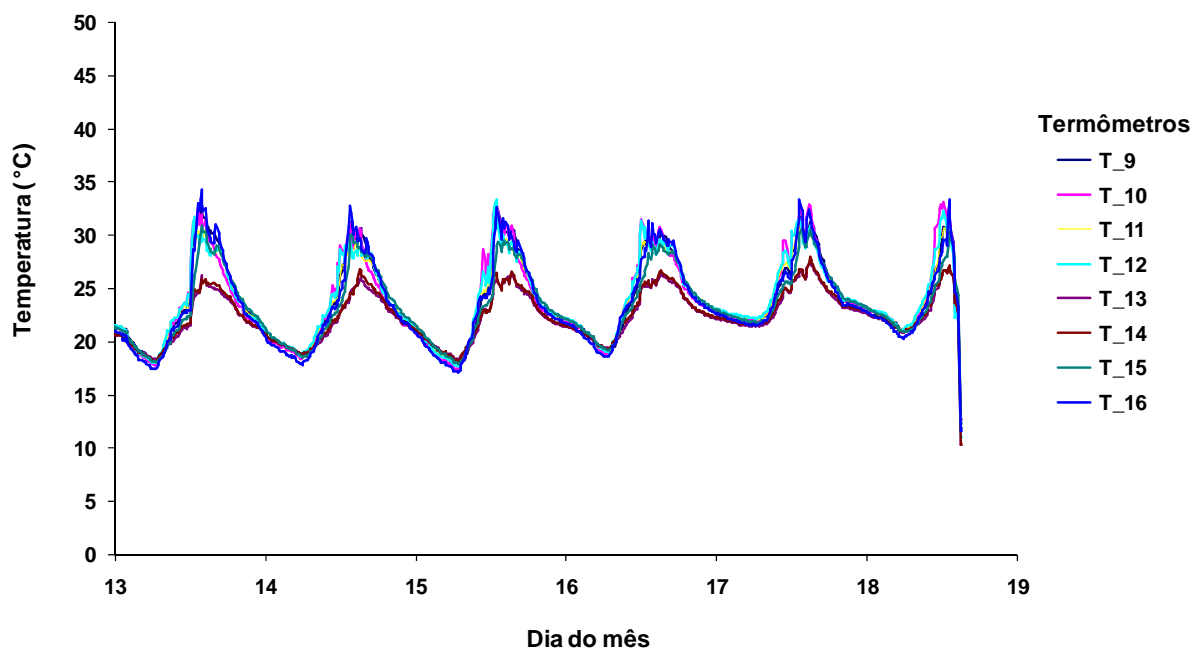


Gráfico 13 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 1110 m² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m² (T_13 a T_16) – 13 a 18 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

O aquecimento do solo se dá mais rapidamente nas áreas regulares, formando uma curva acentuada depois das 11 horas e após atingir seu pico pela tarde, o resfriamento (perda de calor) se dá mais lentamente, desenhando uma curva mais suave no entardecer. Isso pode ser constatado em praticamente todas as medidas, porém é mais visível quando se analisa a variação da temperatura num dia (13/02/2005) em escala mais detalhada (Gráfico 14).

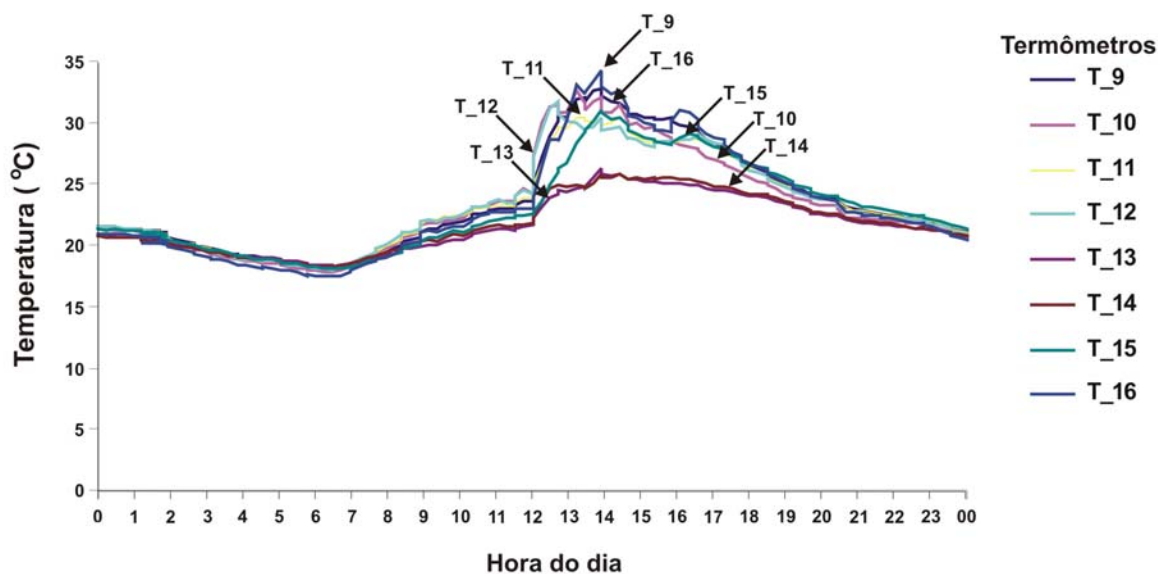


Gráfico 14 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 1110 m² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m² (T_13 a T_16) – 13 fev. 2005

Fonte: O autor (2007).

Estudos de Silans *et al.* (2006) sobre a transferência de calor e água no complexo solo-vegetação-atmosfera mostram que o comportamento hidrodinâmico do solo exerce papel fundamental nos fluxos de calor e no processo de evaporação do solo, e que valores de difusividade térmica muito baixos são um condicionante importante no microclima. Estudando a difusividade térmica *in loco* num solo da Caatinga de Cariri (PB), o autor mostrou a existência de gradientes verticais de temperatura muito fortes na superfície e pequena penetração na onda de temperatura no solo. A defasagem da penetração entre as ondas de temperatura observadas na superfície e na profundidade de 5 cm foi muito grande, caracterizando um solo com muito baixa difusividade térmica.

Na presente pesquisa só se observou diferenças significativas nos dois tratamentos nas temperaturas do solo nas diferentes profundidades após o segundo ano do experimento (Tabelas 3, 4 e 5). A difusividade térmica do solo é importante na compreensão do comportamento do microclima, do processo de evaporação e do balanço hídrico local. Apesar

de não se constatar diferença entre as ondas de temperatura nas duas profundidades (2,5 cm e 7,5 cm) quando analisadas as áreas individualmente, ela é perceptível quando são comparados os dois tratamentos. As diferenças de temperatura nos dois tratamentos ocorrem devido uma difusividade térmica diferenciada por conta das rugosidades do terreno e da diferença da vegetação estabelecida.

A análise dos Gráficos 10, 11, 12, 13 e 14 e das Tabelas 3, 4 e 5, no período de fevereiro de 2005, confirmam que na ocasião houve uma diferença significativa nas temperaturas das áreas regulares quando comparadas com as áreas irregulares nas duas profundidades (2,5 cm e 7,5 cm). Apenas com o termômetro 3 não ocorreu significância estatística, quando comparado com os termômetros das áreas irregulares. O valor da temperatura do termômetro 3, quando comparada com os dos termômetros 5, 7 e 15 nas datas de 2 a 7 de fevereiro de 2005, é maior, porém não apresentou diferença significativa.

Tabela 3 – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as áreas regulares (termômetros T_1, T_3, T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_5, T_7, T_13, T_15) – 02 a 07 fev. 2005 e 13 a 18 fev. 2005.

Período	T_1	T_5	P _{Calc}	T_1	T_7	P _{Calc}	T_1	T_13	P _{Calc}	T_1	T_15	P _{Calc}
02 a 07/02/05	22,84	21,78	1,13x10 ⁻¹¹	22,84	21,79	4,54x10 ⁻¹¹	22,87	21,08	9,57x10 ⁻³⁵	22,87	21,86	9,75x10 ⁻¹¹
13 a 18/02/05	24,32	23,38	2,47x10 ⁻⁰⁷	24,32	23,27	3,93x10 ⁻⁰⁸	24,34	22,35	2,28x10 ⁻²⁸	24,34	23,45	5,84x10 ⁻⁰⁶

	T_3	T_5	P _{Calc}	T_3	T_7	P _{Calc}	T_3	T_13	P _{Calc}	T_3	T_15	P _{Calc}
02 a 07/02/05	21,92	21,78	0,2833	21,92	21,79	0,3269	21,95	21,08	3,65x10 ⁻¹⁵	21,95	21,86	0,4482
13 a 18/02/05	22,95	23,38	0,0038	22,95	23,27	0,0387	22,97	22,35	9,80x10 ⁻⁰⁶	22,97	23,45	0,0029

Período	T_9	T_5	P _{Calc}	T_9	T_7	P _{Calc}	T_9	T_13	P _{Calc}	T_9	T_15	P _{Calc}
02 a 07/02/05	22,31	21,81	7,36x10 ⁻⁰⁵	22,31	21,82	0,0002	22,28	21,06	3,64x10 ⁻²²	22,28	21,83	0,0013
13 a 18/02/05	23,83	23,39	0,0077	23,83	23,29	0,0019	23,81	22,34	2,93x10 ⁻²⁰	23,81	23,45	2,02x10 ⁻¹⁴

Período	T_11	T_5	P _{Calc}	T_11	T_7	P _{Calc}	T_11	T_13	P _{Calc}	T_11	T_15	P _{Calc}
02 a 07/02/05	22,42	21,81	2,77x10 ⁻⁰⁶	22,42	21,82	7,59x10 ⁻⁰⁶	22,38	21,06	7,33x10 ⁻²⁵	22,38	21,83	0,0001
13 a 18/02/05	23,76	23,39	0,0169	23,76	23,29	0,0043	23,74	22,34	1,14x10 ⁻²⁰	23,74	23,45	0,0882

Fonte: O autor (2007).

Tabela 4 – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as áreas regulares (termômetros T₂, T₄, T₁₀, T₁₂) e irregulares (termômetros T₆, T₈, T₁₄, T₁₆) – 02 a 07 fev. 2005 e 13 a 18 fev. 2005.

Período	T ₂	T ₆	P _{Calc}	T ₂	T ₈	P _{Calc}	T ₂	T ₁₄	P _{Calc}	T ₂	T ₁₆	P _{Calc}
02 a 07/02/05	22,58	21,66	1,22x10 ⁻⁰⁹	22,58	21,63	1,11x10 ⁻⁰⁹	22,62	21,16	1,51x10 ⁻²⁷	22,62	21,81	1,65x10 ⁻⁰⁷
13 a 18/02/05	23,87	23,21	0,0003	23,87	23,33	0,0045	23,89	22,50	4,05x10 ⁻¹⁷	23,89	23,59	0,1266

Período	T ₄	T ₆	P _{Calc}	T ₄	T ₈	P _{Calc}	T ₄	T ₁₄	P _{Calc}	T ₄	T ₁₆	P _{Calc}
02 a 07/02/05	22,66	21,66	1,9x10 ⁻⁰⁵	22,656	21,63	1,3x10 ⁻⁰⁵	22,69	21,16	8,09x10 ⁻¹²	22,69	21,81	0,0002
13 a 18/02/05	24,37	23,21	0,0002	24,37	23,33	0,0010	24,40	22,50	4,22x10 ⁻¹⁰	24,40	23,59	0,0114

Período	T ₁₀	T ₆	P _{Calc}	T ₁₀	T ₈	P _{Calc}	T ₁₀	T ₁₄	P _{Calc}	T ₁₀	T ₁₆	P _{Calc}
02 a 07/02/05	22,18	21,69	0,0002	22,18	21,66	0,0001	22,18	21,16	3,33x10 ⁻¹⁸	22,18	21,81	0,0080
13 a 18/02/05	23,87	23,23	0,0004	23,87	23,35	0,0057	23,86	22,50	1,93x10 ⁻¹⁶	23,86	23,59	0,1658

Período	T ₁₂	T ₆	P _{Calc}	T ₁₂	T ₈	P _{Calc}	T ₁₂	T ₁₄	P _{Calc}	T ₁₂	T ₁₆	P _{Calc}
02 a 07/02/05	22,58	21,69	2,48x10 ⁻¹⁰	22,58	21,66	2,67x10 ⁻¹⁰	22,58	21,16	5,08x10 ⁻²⁸	22,58	21,81	3,03x10 ⁻⁰⁷
13 a 18/02/05	23,91	23,23	6,91x10 ⁻⁰⁵	23,91	23,35	0,0019	23,90	22,50	2,37x10 ⁻¹⁹	23,90	23,59	0,1012

Fonte: O autor (2007).

As diferenças de temperaturas registradas se devem à variabilidade ambiental que começa se estabelecer entre os dois tratamentos (Tabela 5). A recuperação ambiental mais acelerada, em função do maior desenvolvimento vegetal, notadamente das espécies arbóreas (bracatingas) torna mais amena a incidência da radiação solar sobre a superfície do solo no tratamento irregular, resultando na predominância de temperaturas mais amenas.

Tabela 5 – Médias comparativas de temperatura do solo de todos os termômetros entre os dois tratamentos (áreas regulares e irregulares), nas profundidades de 2,5 cm e 7,5 cm – 02 a 07 fev. 2005 e 13 a 18 fev. 2005

PERÍODO	TRATAMENTO	PROFUNDIDADE DO SOLO			
		2,5 cm		7,5 cm	
		°C	P _{Calc}	°C	P _{Calc}
02 a 07 02 2005	Irregular	21,64	6,72x10 ⁻²⁹	21,58	3,67x10 ⁻²⁹
	Regular	22,39		22,52	
13 a 18 02 2005	Irregular	23,12	1,09x10 ⁻¹²	23,16	2,44x10 ⁻¹⁴
	Regular	23,72		24,01	

Fonte: O autor (2007).

7.1.2.3 Inverno de 2005 (de 14 a 20/07/2005)

A análise dos Gráficos de temperatura (ver Apêndices A e B) e das Tabelas (ver Apêndices C, D, E e F) do período de inverno de 2005 (14/07 à 20/07/2005) demonstra uma inversão na diferença de temperatura do solo entre as áreas regulares e irregulares. Nesse período, a maioria dos termômetros das áreas regulares apresentou valores de temperaturas mais amenas, inclusive com significância estatística, quando comparado com aquelas das áreas irregulares. Para uma análise em escala mais detalhada escolheu-se os dias 14 a 16/07/2005 (Gráfico 15) que permite uma melhor visualização desta inversão térmica.

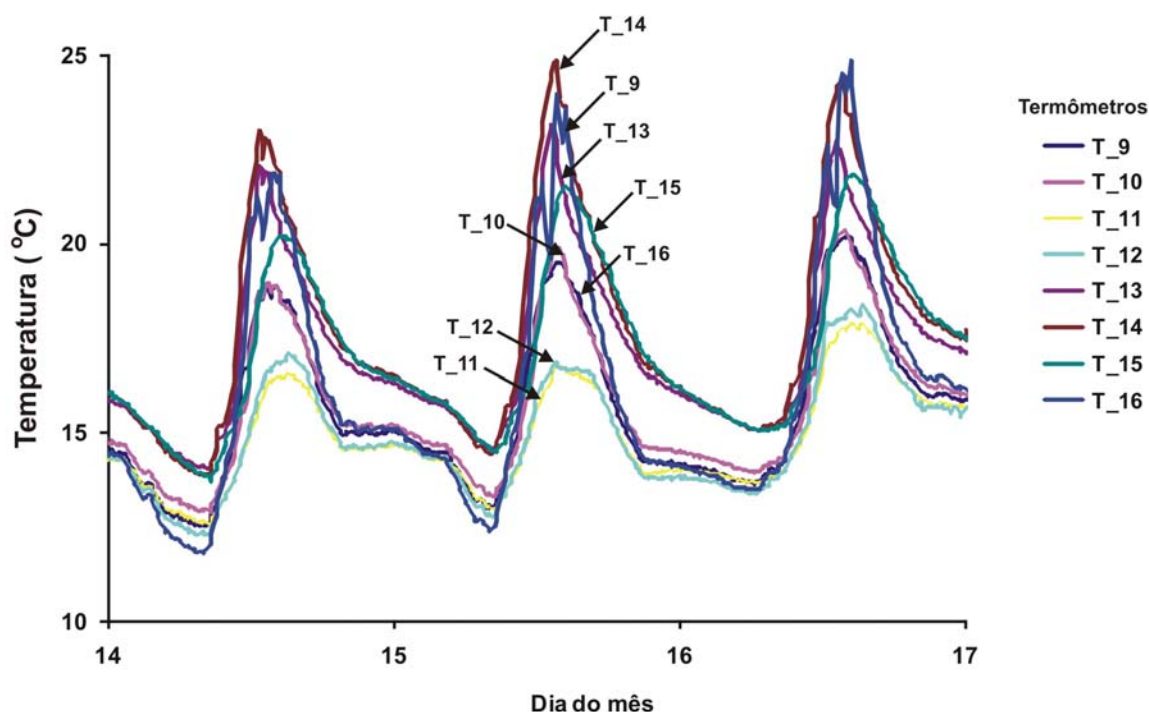


Gráfico 15 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 1110 m² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m² (T_13 a T_16) – 14 a 16 jul. 2005

Fonte: O autor (2007).

Percebe-se a amenização da temperatura nas áreas regulares, que foi confirmada estatisticamente nas Tabelas (ver Apêndices C, D, E e F). Este fato pode ser explicado pelo isolamento térmico provocado pelas herbáceas e arbustivas que em julho predominavam nas áreas regulares, superando o efeito de amenização da temperatura provocado pelas bracatingas mais desenvolvidas nas áreas irregulares. Enquanto nas áreas irregulares o maior desenvolvimento das bracatingas ao longo do ano de 2005 eliminava as gramíneas e herbáceas (Foto 25), nas áreas regulares estas ainda encontravam plenas condições para o seu

desenvolvimento (Foto 26). Em algumas comparações de temperaturas dos termômetros 3 e 12, nas medidas anteriores, já não se verificava significância estatística nas temperaturas do período de fevereiro de 2005.



Foto 24 – Área regular com herbáceas e arbustivas ainda atapetando o solo devido ao menor desenvolvimento das bracatingas – jan. 2005

Fonte: O autor (2007).



Foto 25 – Área irregular: parte das herbáceas já havia perecido e a radiação solar ao atravessar o dossel incidia diretamente no solo – jan. 2005

Fonte: O autor (2007).

7.1.2.4 Primavera de 2005 (de 02 a 08/11/2005)

A observação dos Gráficos (ver Apêndices G e J) e Tabelas (ver Apêndices H, I, K e L) da primavera de 2005 confirma mudanças de comportamento da temperatura do solo, mostrando um padrão mais heterogêneo e mais imprevisível devido às mudanças da cobertura vegetal. Pela análise estatística nota-se uma heterogeneidade no padrão de temperatura, algumas vezes com maior temperatura nas áreas regulares e outras nas áreas irregulares. As temperaturas do termômetro 16 (área irregular) quando comparadas com aquelas dos termômetros da área regular, no período de 2 a 8/11/2005 (Gráfico 16), demonstram picos de temperaturas mais altas e mais baixas, evidenciando maior oscilação térmica na área irregular.

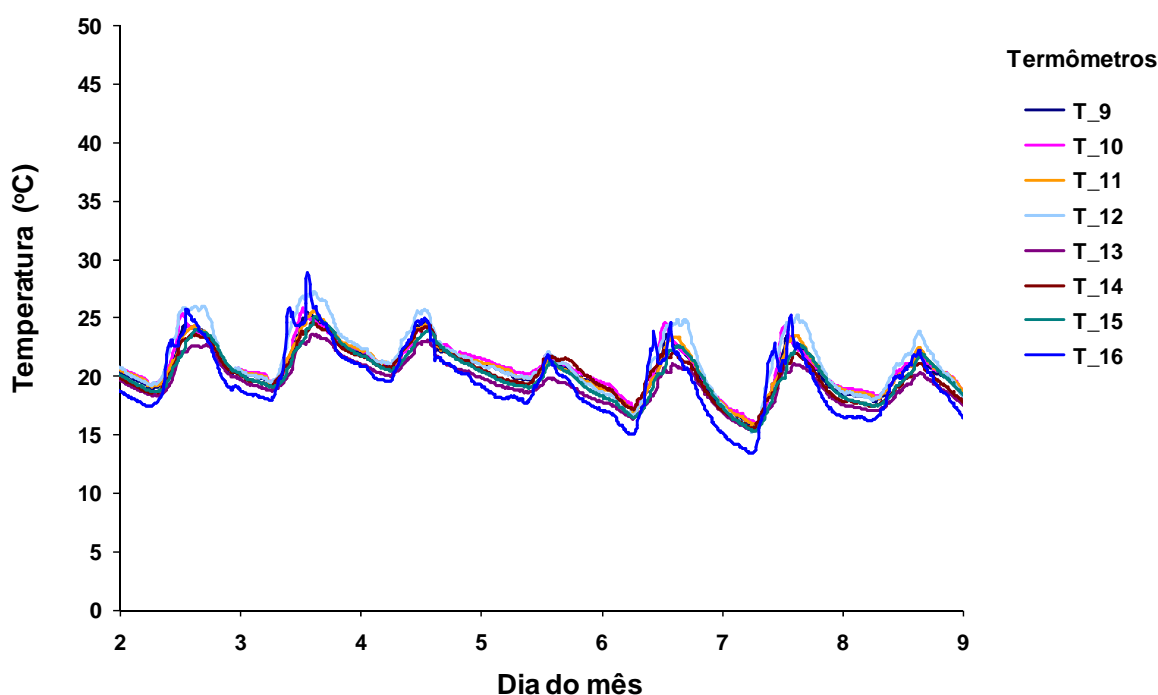


Gráfico 16 – Temperatura do solo (°C) nas áreas Regular 1110 m² (T_9 a T_12) e Irregular 1110 m² (T_13 a T_16) – 02 a 08 nov. 2005

Fonte: O autor (2007).

Nesse período as herbáceas e arbustivas nas áreas irregulares já tinham perecido, enquanto permaneciam nas áreas regulares, protegendo o solo das radiações solares. Quando os raios solares atravessam o dossel das bracatingas nas áreas irregulares atingem diretamente o solo proporcionando maior aquecimento, devido a ausência de gramíneas e herbáceas. Nos dados de temperatura deste período (ver Apêndices J, K e L), nas duas profundidades do solo observa-se significância estatística entre os dois tratamentos. Com a mudança da direção da

incidência solar ao longo do dia os raios não atravessam mais o dossel e a temperatura do solo volta a diminuir. Estes dados demonstram a importância das herbáceas e arbustivas no controle da temperatura do solo, podendo inclusive superar o papel das arbóreas como amenizador da temperatura.

7.1.2.5 Verão de 2006 (de 22 a 26/02/2006)

A análise dos Gráficos 17 e 18 e das Tabelas (ver Apêndices M e N) demonstra que nas medidas de fevereiro de 2006 se consolidam diferenças de temperatura entre as áreas regulares e irregulares. No Gráfico 19 a temperatura apresenta-se detalhadamente as diferenças do dia 23/02/2006. As temperaturas do solo são generalizadamente maiores nas áreas irregulares em relação às áreas regulares. As diferenças são expressivas como verificado em julho de 2005. A principal diferença entre as áreas está no fato de que nas áreas regulares ainda há uma densa cobertura de herbáceas e arbustivas enquanto nas áreas irregulares estas plantas já pereceram. A observação das Fotos 26 e 27 e os dados estatísticos das tabelas dos Apêndices M e N, confirmam as diferenças da vegetação entre as duas áreas. Na Foto 26 as herbáceas e arbustivas cobrem o solo das áreas regulares formando o revestimento protetor, enquanto as bracatingas são pouco desenvolvidas. As gramíneas promoveram uma rápida e densa cobertura do solo auxiliando na recuperação e proteção do solo, confirmando observações de Anjos e Reissmann (1994). Na Foto 27 o maior desenvolvimento das bracatingas induziu à eliminação de parte da vegetação rasteira, evidenciando um estágio sucessional mais avançado. Por esta razão, as temperaturas nas áreas regulares oscilam menos que nas áreas irregulares.



Foto 26 – Área regular: herbáceas e arbustivas ainda atapetam o solo devido o menor desenvolvimento das bracatingas – fev. 2006

Fonte: O autor (2007).



Foto 27 – Área irregular: parte das herbáceas e arbustivas já pereceu e a radiação solar ao atravessar o dossel incide diretamente no solo – fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

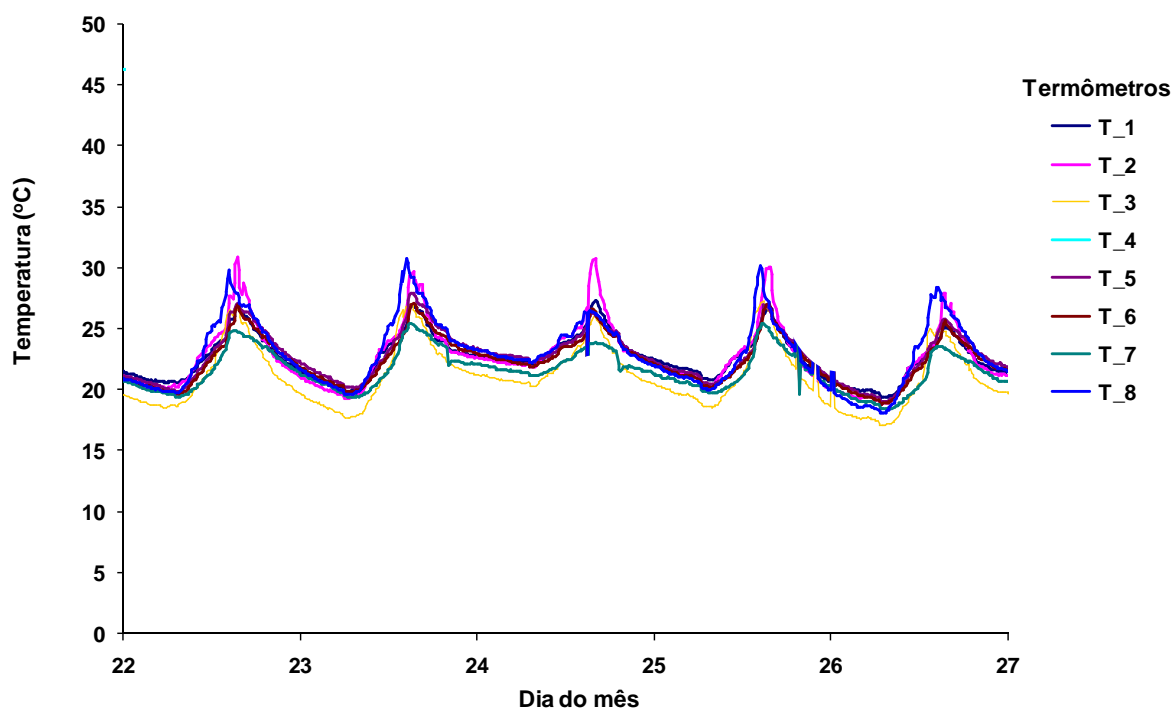


Gráfico 17 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 820 m² (T_1 a T_4) e irregular 820m² (T_5 a T_8) – 22 a 26 fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

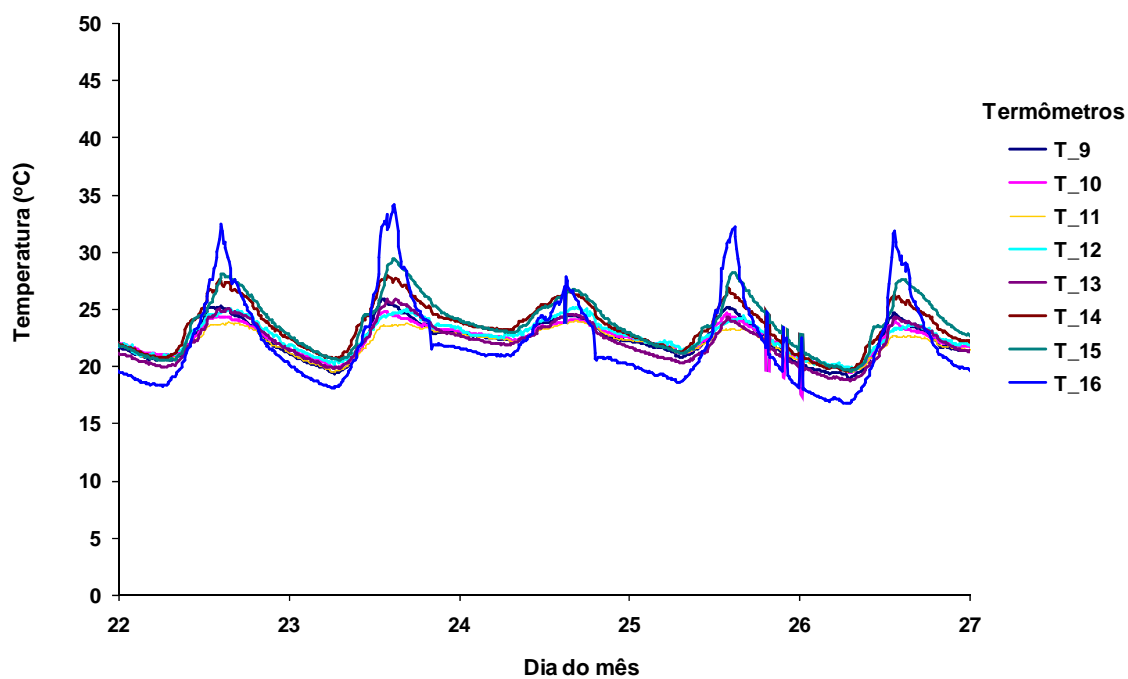


Gráfico 18 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 1110 m² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m² (T_13 a T_16) – 22 a 26 fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

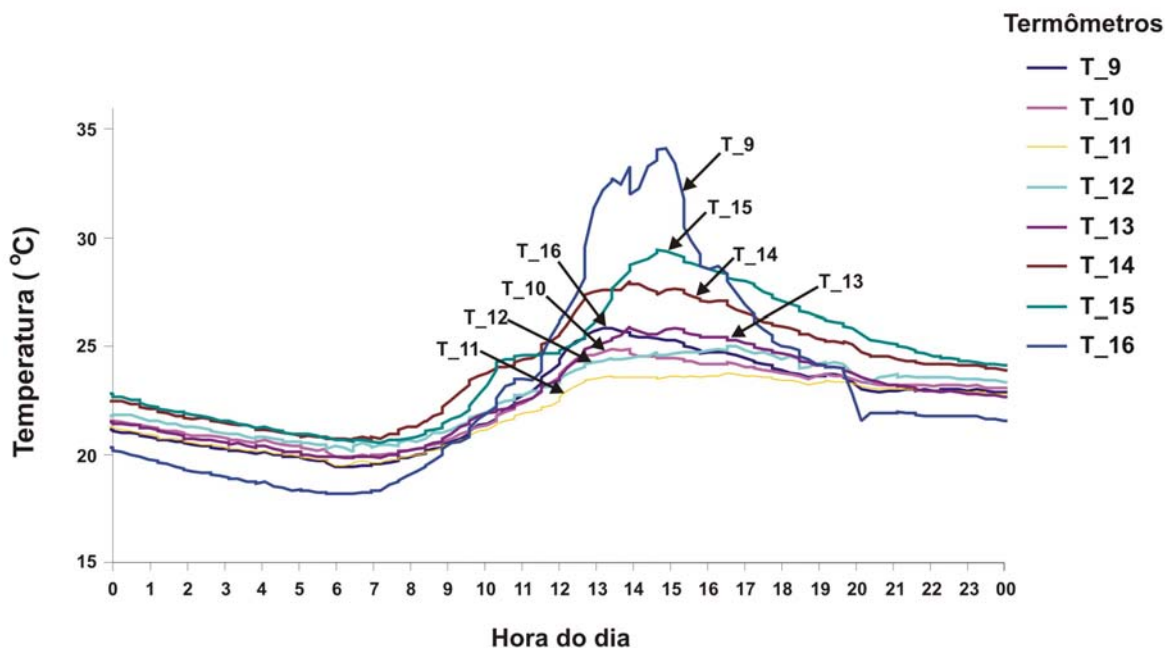


Gráfico 19 – Temperatura do solo (°C) nas áreas regular 1110 m² (T_9 a T_12) e irregular 1110 m² (T_13 a T_16) – 23 fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

7.1.2.6 Síntese do comportamento da temperatura do solo

Nos primeiros seis meses do experimento a temperatura média do solo nas duas profundidades em geral apresentou tendência de ser menor nas áreas irregulares. Após um ano da implantação do experimento verificou-se que nas quatro estações, os registros das temperaturas do solo confirmam diferenças significativas entre os dois tratamentos nas duas profundidades do solo (Tabela 6 e Gráfico 20). As áreas regulares apresentaram maiores temperaturas no verão de 2005 e primavera de 2005. No entanto, na primavera de 2005, o padrão de temperatura foi mais heterogêneo e mais imprevisível devido às mudanças da cobertura vegetal, algumas vezes com temperaturas mais elevadas nas áreas regulares e outras vezes nas áreas irregulares, conforme demonstrado anteriormente nas análises parciais. No entanto, em média, as temperaturas nas duas profundidades do solo, são significativamente maiores na área regular (Tabela 6). As temperaturas do solo foram mais amenas nas áreas regulares, no inverno de 2005 e no verão de 2006, como efeito da proteção exercido pela vegetação herbácea e arbustiva que ainda sobreviviam nessas áreas. A temperatura ambiente tem importante papel na evaporação da água pelo fato de que os vegetais e o solo ficaram

mais quentes em dias ensolarados gerando um gradiente de pressão de vapor e conseqüentemente a evaporação se processa mais rapidamente, exercendo forte controle na evapotranspiração (Brady, 1989).

Tabela 6 – Comparativos das médias da temperatura do solo entre os tratamentos regular e irregular a 2,5 e a 7,5 cm de profundidade

PERÍODO	PROFUNDIDADE DO SOLO					
	2,5 cm			7,5 cm		
	Regular	Irregular	P _{calc}	Regular	Irregular	P _{calc}
02 a 07/02/2005	22,39	21,64	$3,36 \times 10^{-29}$	22,52	21,58	$1,83 \times 10^{-29}$
13 a 18/02/2005	23,70	23,11	$9,14 \times 10^{-13}$	23,99	23,15	$1,71 \times 10^{-14}$
14 a 20/07/2005	13,34	14,86	$2,32 \times 10^{-85}$	13,30	14,50	$1,74 \times 10^{-40}$
02 a 08/11/2005	20,68	19,92	$7,15 \times 10^{-36}$	21,05	20,04	$3,14 \times 10^{-54}$
22 a 26/02/2006	21,85	22,58	$1,89 \times 10^{-32}$	22,51	22,79	$3,80 \times 10^{-05}$

Fonte: O autor (2007).

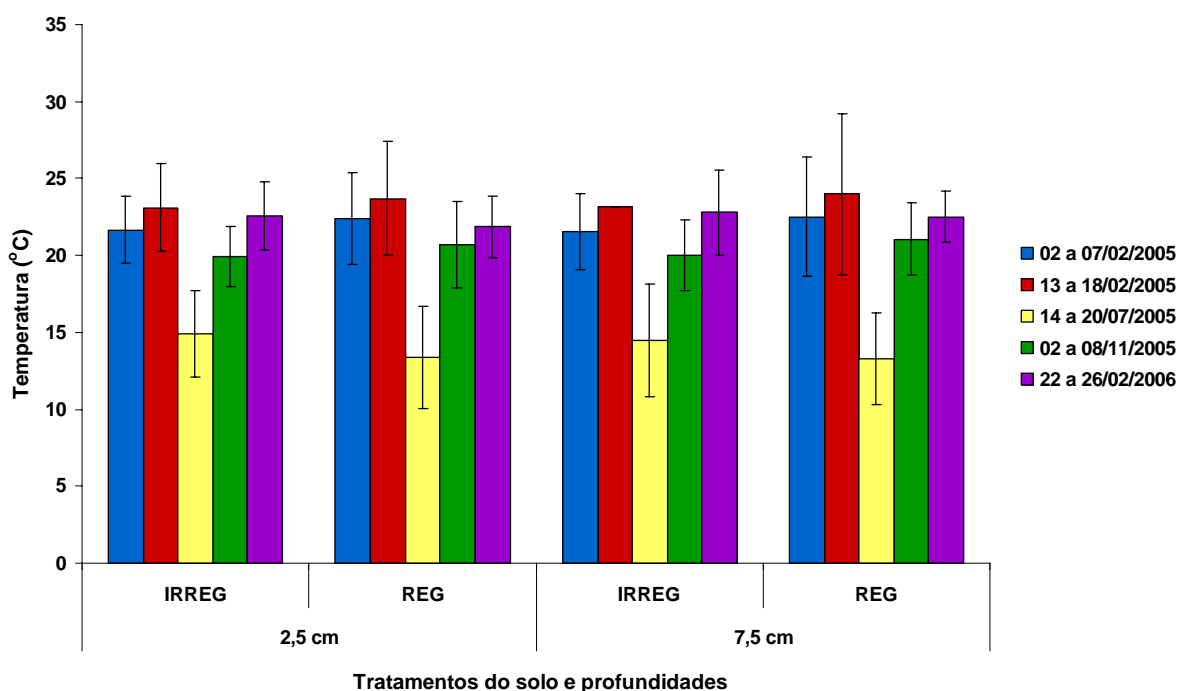


Gráfico 20 – Comparativos das médias da temperatura do solo (°C) entre os tratamentos do solo nas áreas irregular e regular nas profundidades de 2,5 e 7,5 cm – fev. 2005 e fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

A temperatura é um fator relevante do ponto de vista ecológico no processo de recuperação ambiental de áreas degradadas. Parte da radiação solar é convertida em calor e todos os corpos e organismos trocam calor com o meio. Durante o dia, a radiação solar pode exceder àquela dos corpos. Os organismos ganham calor e se tornam mais quentes. À noite

ocorre o contrário. Essa energia térmica em trânsito provém da diferença de temperatura entre dois corpos que compõem o sistema. A temperatura se equilibra quando o ganho equaliza as perdas. Quando os ganhos de calor excedem as perdas, a energia é armazenada ou acumulada no corpo e conseqüentemente a sua temperatura sobe; quando as perdas excedem os ganhos, a temperatura cai (RICKFLEFS, 1993). O princípio da igualdade das trocas de calor evidencia que dois ou mais corpos com temperatura diferentes, próximos uns dos outros ou em contato, trocam calor entre si, até atingirem o equilíbrio térmico: a quantidade de calor recebida por uns é igual à quantidade de calor cedida por outros.

Como as substâncias têm calores específicos diferentes, a troca de calor (energia térmica em trânsito) é muito variável no meio físico e biológico. Como o calor específico e a capacidade térmica do solo, de uma forma geral, são relativamente pequenos (se comparado com o da água) este se aquece mais de dia e à noite perde calor, fazendo oscilar mais a temperatura. Os vegetais apresentam um calor específico maior que o do solo, havendo uma transferência de calor deste para os vegetais quando há um resfriamento noturno. Nas superfícies irregularizadas (ou caoticamente organizadas), a transferência de calor entre os organismos e o meio se dá via radiação, condução, convecção e evaporação, porém neste caso há uma amenização dessas trocas de calor em relação às superfícies planas regulares. O aquecimento do meio no caso das superfícies irregulares é minimizado em função do menor tempo de exposição direta aos raios solares (Figuras 30b e 30c). A irregularidade da superfície provoca maior reflexão difusa da radiação solar em ausência da vegetação.

Em dada região, com as mesmas características gerais, porém com superfície irregularizada, o tempo de incidência da radiação solar por unidade de área, no decorrer do dia, será sempre menor do que aquela na mesma região, porém com a superfície plana regularizada. Na superfície regular (Figura 30a), a troca de calor provocada pela radiação térmica já começa ocorrer com a incidência dos primeiros raios solares da manhã, e assim permanece trocando calor no decorrer do dia enquanto houver radiação solar. A energia térmica em trânsito provocada pelas oscilações, diurnas será maior do que aquela na superfície irregular. Nas Figuras 30b e 30c, observa-se que, tanto nas superfícies côncavas como nas superfícies resultantes da junção com superfícies convexas, o tempo de exposição direta à radiação solar numa dada área, sempre será menor que nas superfícies planas regulares. As trocas de calor por unidade de área, no decorrer das oscilações diurnas, sempre será menor nas áreas irregulares. Porém, o aumento da superfície, provocado pelas irregularidades, compensa essa diminuição e ameniza os extremos de temperatura na área como um todo, estimulando a produção vegetal pelo maior equilíbrio entre fotossíntese e

respiração. O efeito benéfico da temperatura é resultado da amenização do superaquecimento do solo e do ar e do menor tempo de exposição à radiação solar por unidade de área. A irregularização topográfica, além de amenizar a temperatura do solo e do ar, cria micro-nichos diferenciados, estimulando a produção vegetal, que por sua vez passa a ter um efeito de *feedback* no processo da sucessão vegetal.

7.1.3 Temperatura ambiente

A análise das temperaturas do ambiente um ano e dez meses após a implantação do experimento (11/2005) das áreas regulares e irregulares (Gráficos 21 e 22 e Tabela 7), permitem constatar um comportamento semelhante nos dois tratamentos de solo. No entanto, nos Gráficos de temperaturas do mês de fevereiro de 2006 (Gráficos 23 e 24) constata-se um comportamento mais irregular, tanto nas áreas menores (820 m²) como nas áreas maiores (1100m²), evidenciando a influência do estabelecimento da vegetação.

Percebem-se grandes oscilações térmicas diurnas onde as diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas do ambiente, em uma mesma área, podem atingir até 21°C em novembro de 2005 e 25°C em fevereiro de 2006. As maiores diferenças diurnas de temperatura ambiente foram verificadas nas áreas irregulares onde ocorreu maior desenvolvimento da vegetação arbórea.

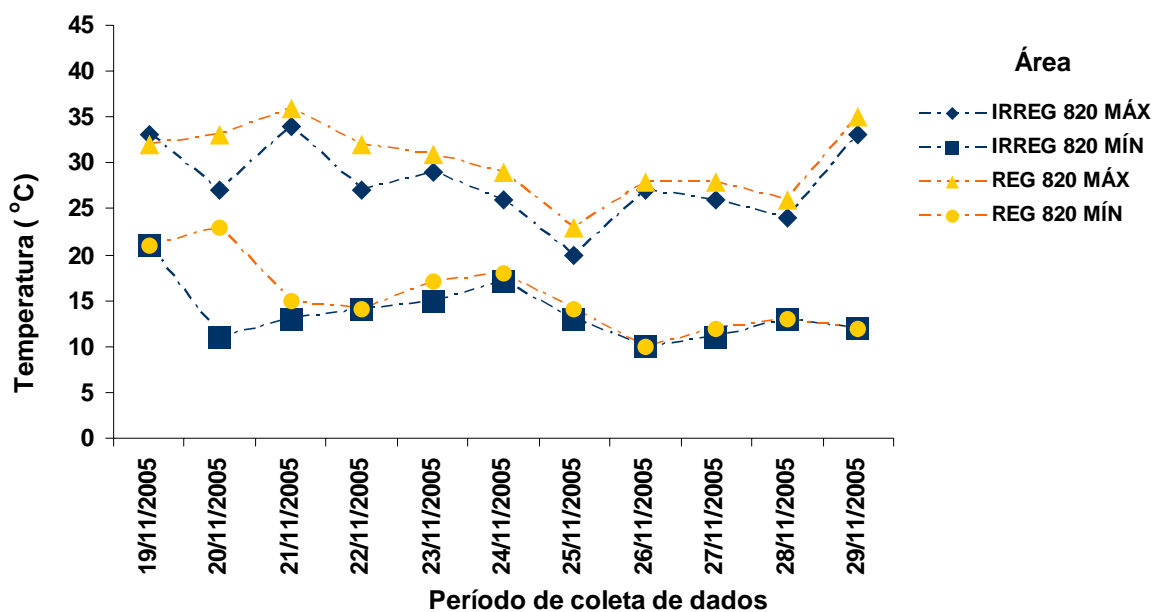


Gráfico 21 – Temperaturas do ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 820m² e irregular 820 m² – 19 a 29 nov. 2005

Fonte: O autor (2007).

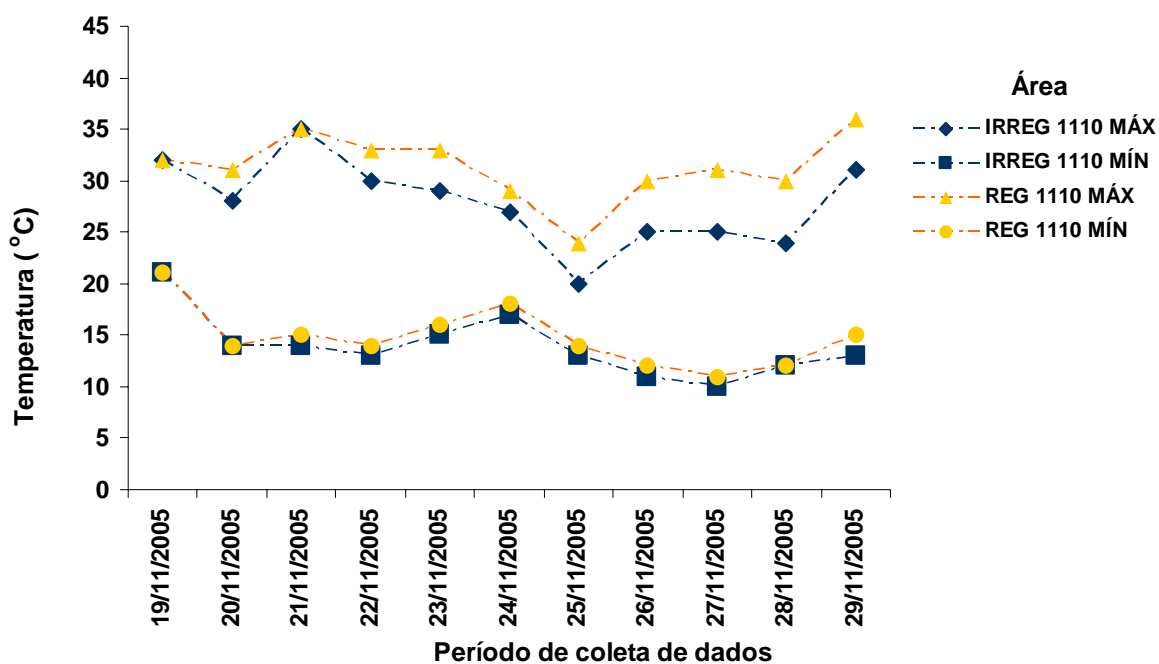


Gráfico 22 – Temperaturas do ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 1110m² e irregular 1110 m² – 19 a 29 nov. 2005

Fonte: O autor (2007).

Pela análise das temperaturas máximas e mínimas do ambiente (Gráficos 21 e 22), na primavera (de 19 a 29/11/2005), verifica-se que as temperaturas máximas nas áreas regulares

são superiores em relação àquelas das áreas irregulares, podendo atingir diferenças de até 6°C.

Também se verificam temperaturas mínimas generalizadamente inferiores nas áreas irregulares em relação àquelas das áreas regulares. No entanto, as diferenças entre estas são menores do que as diferenças entre as temperaturas máximas. Esta menor diferença se deve ao fato que, principalmente à noite, na ausência da radiação solar, o maior desenvolvimento da vegetação arbórea tem menor influência na temperatura ambiente e a renovação do ar a noite aproxima as temperaturas mínimas.

Nas medidas realizadas no verão de 2006 (02/2006) o padrão de comportamento das temperaturas do ambiente foi mais variável e em alguns dias, tais como em 5/02, 11/02, 12/02 e 13/02 nas áreas de 1110 m² e no dia 11/02 na área de 820 m², as temperaturas máximas foram observadas nas áreas irregulares. Temperaturas mínimas excepcionalmente também ocorrem nas áreas regulares no mês mais quente, em fevereiro de 2006.

Esta variabilidade se deve ao maior desenvolvimento das espécies arbóreas que provocam maior sombreamento nas áreas irregulares, conforme demonstrado anteriormente na análise da radiação e da temperatura do solo. A radiação solar incidente no solo é convertida em calor durante o dia e à noite há uma troca de calor (energia térmica em trânsito) via radiação, condução, convecção e evaporação do solo para o meio. Essa energia térmica em trânsito provém da diferença de temperatura do solo entre os dois tratamentos e da vegetação estabelecida. Devido ao maior calor específico dos vegetais há uma transferência de calor do solo para os vegetais e para o ambiente, quando há o resfriamento noturno.

Apesar da maior variabilidade de temperatura registrada no verão de 2006, as médias das temperaturas máximas sempre foram mais altas nas áreas regulares, inclusive com significância estatística (Tabela 7). Também se verifica médias das temperaturas mínimas mais baixas nas áreas irregulares, porém sem significância estatística (Tabela 7 e Gráficos 23 e 24). O comportamento das médias das temperaturas máximas e mínimas confirma o efeito de amenização da temperatura ambiente provocado pelo estádio mais avançado da recuperação ambiental nas áreas irregulares.

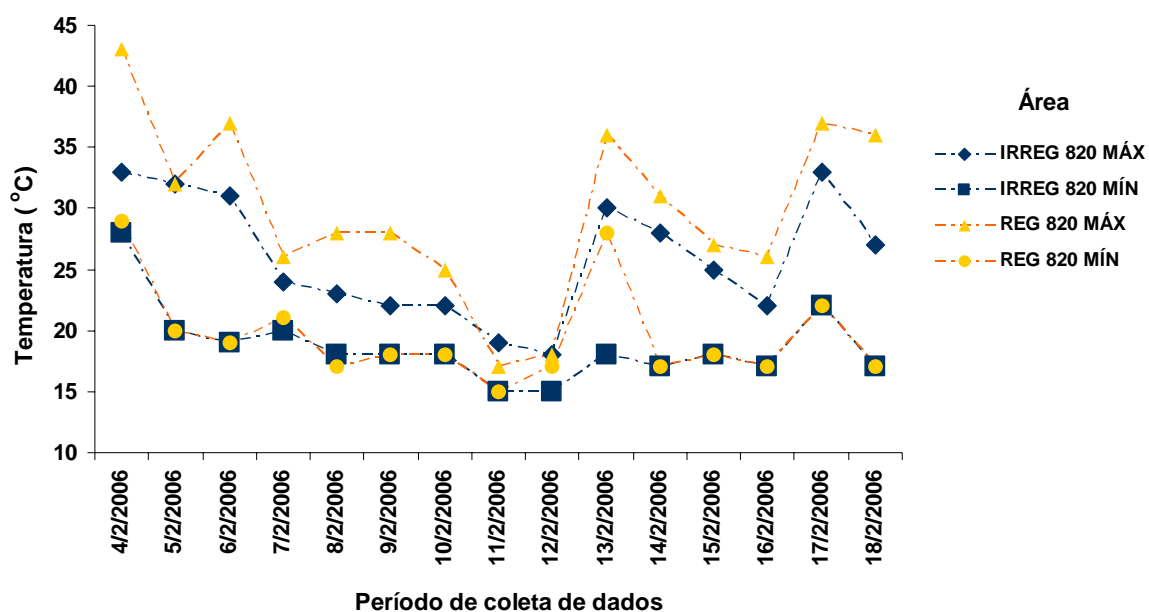


Gráfico 23 – Temperatura ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m² – 04 a 18 fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

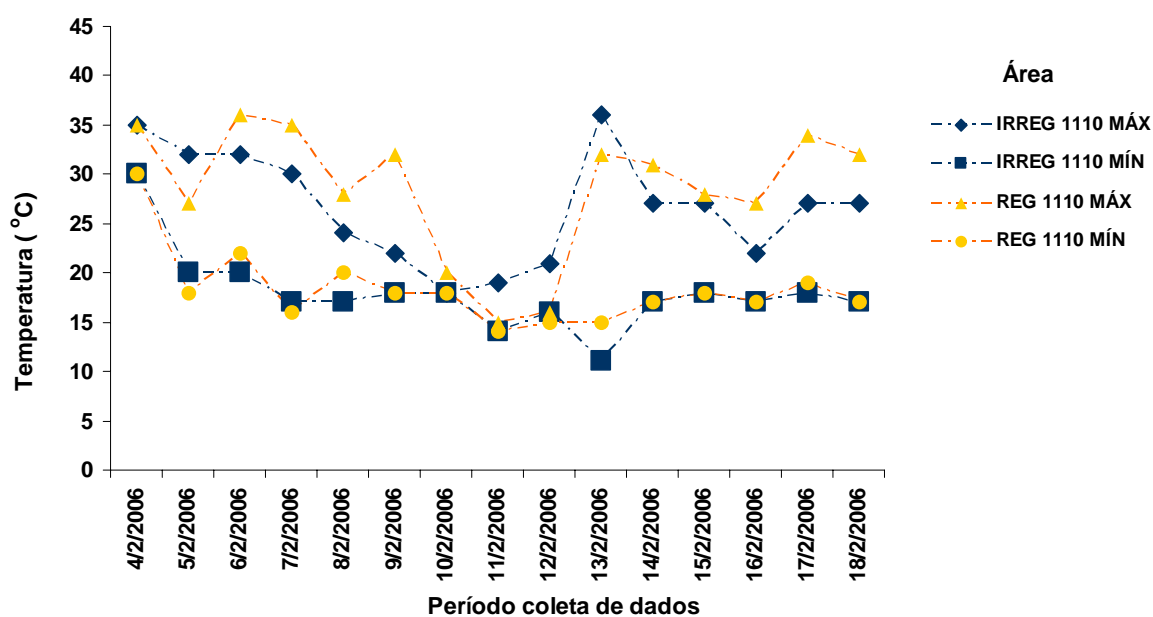


Gráfico 24 – Temperatura ambiente (°C) máximas e mínimas nas áreas regular 1110 m² e irregular 1110 m² – 04 a 18 fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

Tabela 7 – Comparativos das médias da temperatura ambiente máximas e mínimas entre os tratamentos irregular e regular – 19 a 29 nov. 2005 e 04 a 18 fev. 2006

PERÍODO	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)					
	Máxima			Mínima		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
04 a 18/02/2006	29,17	26,27	0,036	18,90	18,27	0,258
19 a 29/11/2005	30,77	27,82	0,007	15,05	13,77	0,098

Fonte: O autor (2007).

7.1.4 Umidade relativa do ar

Através das medidas de umidade relativa do ar nas áreas regulares e irregulares não se verificou diferenças expressivas. Ao amanhecer o ar ainda está saturado (100% de umidade relativa) quando então começa cair a umidade, atingindo o mínimo no meio da tarde quando a radiação atinge o nível máximo. No entardecer quando a radiação solar diminui a umidade, aumenta progressivamente até atingir a saturação (100%) e assim permanece durante toda a noite.

Destaca-se que no máximo da radiação diurna, a umidade relativa do ar tende ser maior na área irregular, como pode ser visto nos Gráficos de julho e novembro de 2005 (Gráficos 25 e 26), ainda que na maioria absoluta do tempo não ocorra significância estatística (Tabela 8).

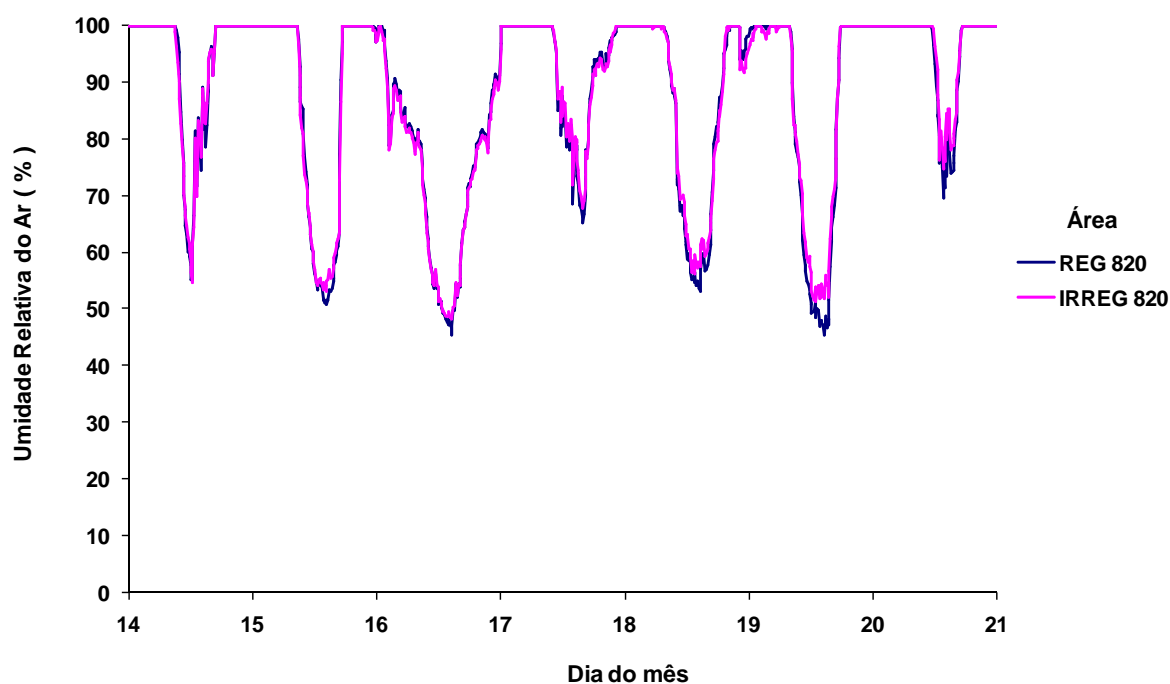


Gráfico 25 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m² – 14 a 20 jul. 2005

Fonte: O autor (2007).

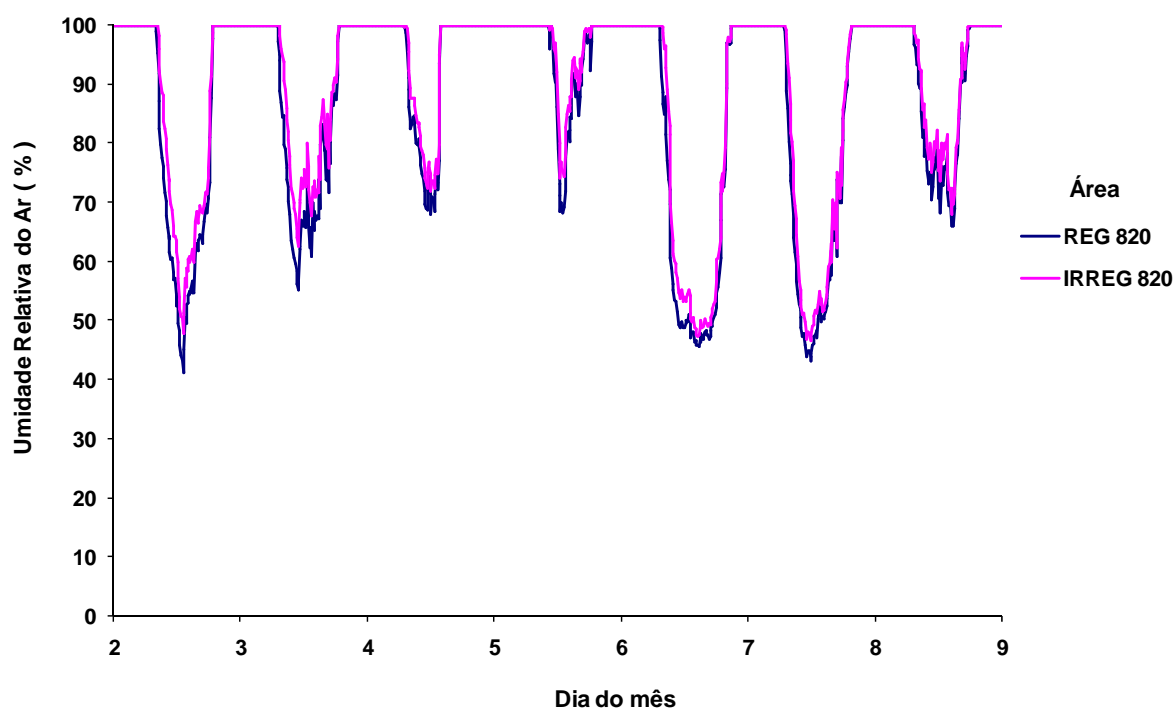


Gráfico 26 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m² – 02 a 08 nov. 2005

Fonte: O autor (2007).

No Gráfico 27 apresenta-se a umidade do dia 02/11/05 onde fica evidente a tendência de maior umidade relativa na área irregular. Apesar da maior umidade na área irregular permanecer enquanto o ar não está saturado, os dados estatísticos não indicam uma significância (0,1905).

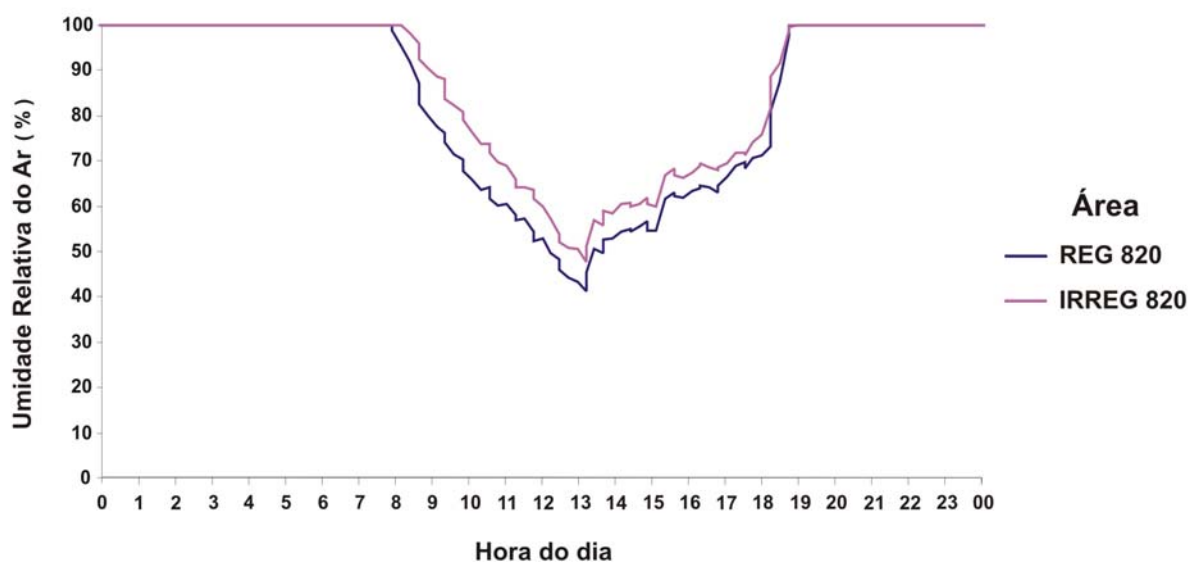


Gráfico 27 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m² – 02 nov. 2005

Fonte: O autor (2007).

O único período analisado que ocorreu significância estatística foi aquele compreendido entre 02 e 08 de novembro de 2005 (Gráficos 26 e 27 e Tabela 8), cuja diferença de umidade foi de 2,18% entre os dois tratamentos ($P(T \leq t)$ bi-caudal 0,0041).

Ressalte-se que no pico da radiação solar da tarde as diferenças entre os dois tratamentos são maiores, e mesmo que a maioria das vezes não apresenta significância estatística, essa diferença pode funcionar como um filtro para a fauna de invertebrados mais sensíveis às variações da umidade.

Santos *et al.* (2005) analisaram as variáveis microclimáticas e compararam a temperatura do ambiente e umidade relativa em área de transição entre a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Mista em quatro ambientes diferentes no sul da Bahia. A maior amplitude térmica para as temperaturas máximas foi de 8,6°C às 14h30 entre uma área de pastagem e o topo de uma área de mata e a maior amplitude térmica para as temperaturas mínimas registrada foi de 3,4°C às 6:30 horas entre a área de pastagem e a base da mata. A menor amplitude da umidade relativa do ar ocorreu às 15h30 e foi de 42,4% entre a área de

pastagem e o topo da mata. As diferenças de umidade foram bem superiores àquelas encontradas na presente pesquisa.

Nas medidas de fevereiro de 2006, se observa uma maior variabilidade na umidade relativa do ar (Gráfico 28). Em alguns momentos do dia há maior umidade relativa do ar na área regular. Este fato reflete as mudanças anteriormente já constatadas nesse período, na intensidade da radiação e da temperatura do ambiente, resultante do crescimento diferenciado da vegetação nos dois tratamentos, que se expressa numa maior variabilidade ambiental devido ao processo sucessional. O que se observa no processo da revegetação é o desencadeamento de uma teia complexa de interações entre o meio abiótico e o meio biótico, onde o desenvolvimento da vegetação ameniza as condições microclimáticas (radiação, umidade e temperatura ambiente e do solo). Com a mudança da estrutura da composição florística também se alteram as condições microclimáticas. Essas alterações não refletem uma relação linear de causa efeito do tipo maior altura da vegetação arbórea significa maior amenização das condições microclimáticas, mas o que se constata é que no processo sucessional da vegetação aumenta a variabilidade das condições microclimáticas (radiação, umidade relativa e temperatura do ambiente e do solo) refletindo uma complexidade crescente e aparentemente caótica. Isto se reflete numa cumplicidade co-evolutiva cada vez mais rica e variada entre o meio biótico e o meio abiótico.

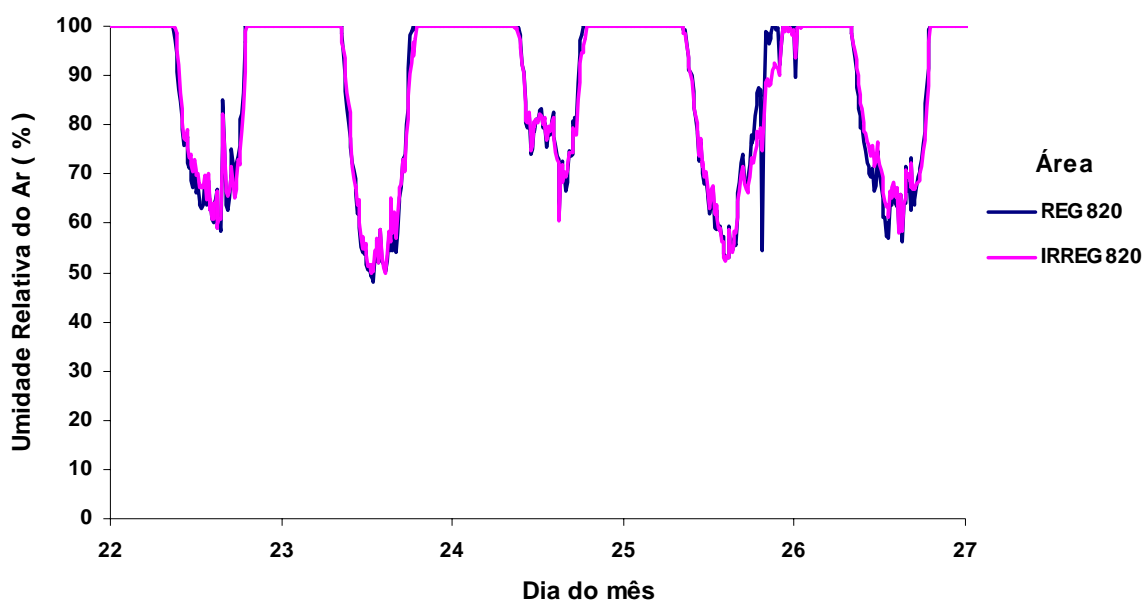


Gráfico 28 – Umidade relativa do ar (%) nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m² – 22 a 26 fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

Yarranton e Morrison (1974) ao analisar a dinâmica espacial de uma sucessão primária constatou que a passagem da sucessão do primeiro estágio para o segundo se caracteriza por um clima mais ameno e pelo acúmulo de matéria orgânica com formação do húmus. Nesse estágio as espécies do segundo estágio se comportam como centros de estabelecimento e núcleo para o crescimento de aglomerados de espécies mais exigentes. O autor sugere uma analogia com o fenômeno da nucleação encontrada em física, tal como o crescimento do granizo. Na presente pesquisa, a amenização das condições climáticas constatada na primeira etapa foi substituída no segundo estágio pela maior heterogeneidade da temperatura ambiente, da temperatura do solo, da radiação e da umidade relativa do ar. Nesse caso, as rugosidades se comportaram como centros de estabelecimento para o crescimento de ciperáceas e juncáceas, desencadeando na etapa seguinte as condições para espécies mais exigentes.

Tabela 8 – Médias da umidade relativa do ar (%) nos períodos de coletas de dados nas áreas regular 820 m² e irregular 820 m²

PERÍODO	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)		
	Regular 820	Irregular 820	P _{Calc}
14 a 20 jul. 2005	88,64	88,84	0,787
02 a 08 nov. 2005	85,49	87,67	0,004
02 nov. 2006	83,89	86,84	0,191
22 a 26 fev. 2006	87,90	87,89	0,988

Fonte: O autor (2007).

7.1.5 Umidade do solo em amostra indeformada

A análise da umidade do solo nos 5 centímetros superficiais permitiu constatar uma umidade do solo significativamente maior nas áreas regulares no final do primeiro e do segundo ano após a implantação do experimento (Tabelas de 9 e 10 e Gráfico 29). No verão de 2006, houve um aumento na umidade do solo com maior intensidade nas áreas regulares.

Por outro lado, em geral, na camada de 15 a 20 cm de profundidade após o primeiro ano se observa que nas áreas irregulares houve tendência de manutenção da umidade do solo enquanto nas áreas regulares ocorreu um aumento da umidade.

Tabela 9 – Umidade do solo em amostras indeformadas (%) nos tratamentos irregular e regular, a 0-5 e 15-20 cm de profundidade – 13 jan. 2005

	PROFUNDIDADE DO SOLO					
	0-5cm			15-20cm		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	33,79	24,80	0,005	25,47	24,80	0,443
Parcela 820	27,25	26,25	0,236	23,43	27,73	0,041
Média	30,52	25,53	0,008	24,45	26,26	0,225

Fonte: O autor (2007).

Tabela 10 – Médias da umidade do solo em amostras indeformadas (%) entre os tratamentos irregular e regular, a 0-5 e 15-20 cm de profundidade – 28 fev. 2006

	PROFUNDIDADE DO SOLO					
	0-5cm			15-20cm		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	43,70	28,36	0,012	39,58	24,14	0,005
Parcela 820	37,98	31,53	0,101	34,61	27,34	0,134
Média	40,84	29,94	0,002	37,09	25,74	0,003

Fonte: O autor (2007).

7.1.6 Umidade natural (gravimétrica)

Os resultados da umidade gravimétrica, em amostras compostas deformadas coletadas nos 30 cm superficiais, após dois anos de implantação do experimento, acusaram para a área irregular uma média de 28,9% de umidade fora das rugosidades. No entanto, dentro das rugosidades, apesar do longo período de estiagem, ocorrido no segundo semestre de 2006, observou-se uma percentagem de umidade muito mais elevada, na ordem de 52,6%. Nas áreas regulares, a média da umidade gravimétrica foi de 30,2%, portanto muito similar à média de umidade fora das rugosidades da área irregular (Tabela 11).

Tabela 11 – Médias da umidade natural em amostras compostas (30 cm) nas áreas com tratamentos irregular e regular (%) – dez. 2006⁵

	AMOSTRAGEM 1	MÉDIA	AMOSTRAGEM 2	MÉDIA
Irregular 1110m ²	26,9	28,9	57,8	52,6
Irregular 820 m ²	30,9		47,4	
Regular 1110 m ²	26,9	30,2	30,9	32,2
Regular 820 m ²	33,5		33,5	

Fonte: O autor (2007).

⁵ Observação: Na amostragem 2 das parcelas irregulares as amostras foram coletadas dentro das rugosidades.

As rugosidades do terreno criam maior gradiente de umidade que resulta em maior variabilidade de micro-nichos. Na fase inicial do experimento as rugosidades armazenavam água nas concavidades atraindo a fauna, estimulando o estabelecimento de Cyperaceae e Juncaceae e mantendo elevada a umidade do solo no entorno dos micro-lagos. A colmatação dos micro-lagos (Foto 28) e o rápido desenvolvimento de *Mimosa scabrella* ocorrida ao longo do processo de recuperação alteraram a configuração dos micro-lagos e inibiram o desenvolvimento de herbáceas (Foto 29) adaptadas à água e insolação intensa, evidenciando uma complexa interação entre a água, umidade do solo e o processo de revegetação. A água e a umidade do solo apresentam uma relação de inter-dependência complexa que se altera ao longo do processo de recuperação. As pequenas rugosidades topográficas facilitam a drenagem do solo melhorando a aeração fora das rugosidades, que segundo Brady (1998), facilita a intermutabilidade dos gases estimulando o crescimento dos vegetais.



Foto 28 – Corte em solo depositado nas rugosidades mostrando a colmatação com sedimentos contendo resíduos vegetais e umidade

Fonte: O autor (2007).



Foto 29 – O maior desenvolvimento das bracatingas nas áreas irregulares inibiram o crescimento das herbáceas e juncáceas que haviam se estabelecido nas rugosidades

Fonte: O autor (2007).

7.1.7 Densidade aparente

A análise dos dados de densidade aparente do solo permite constatar um aumento generalizado da densidade com o tempo nos primeiros 5 centímetros do solo, tanto nas áreas regulares como nas áreas irregulares. Os dados mais expressivos são os aumentos das densidades do solo nas áreas regulares na profundidade de 15-20 centímetros.

Nota-se após dois anos do plantio que a densidade aparente do solo nos primeiros 5 centímetros e no intervalo de 15 à 20 cm apresenta tendência em ser menor nas áreas irregulares em relação as áreas regulares (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12 – Médias da densidade aparente (DA – g/cm³) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 13 jan. 2005

	PROFUNDIDADE DO SOLO					
	0-5cm			15-20cm		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	0,89	0,94	0,277	1,23	1,16	0,275
Parcela 820	1,16	0,91	0,02	1,34	0,92	0,001
Média	1,02	0,93	0,102	1,28	1,04	0,004

Fonte: O autor (2007).

Tabela 13 – Médias da densidade aparente (DA – g/cm³) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 28 fev. 2006

	PROFUNDIDADE DO SOLO					
	0-5cm			15-20cm		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	1,15	1,27	0,132	1,10	1,25	0,076
Parcela 820	1,35	1,36	0,478	1,36	1,38	0,412
Média	1,25	1,31	0,297	1,23	1,32	0,164

Fonte: O autor (2007).

A explicação do aumento generalizado da densidade nos primeiros 5 centímetros pode estar ligado a erosão ocorrida nas áreas, ao pisoteamento ocorrido durante as medições e a acomodação das partículas muito finas (argilas) entre os agregados maiores. As partículas muito finas (argilas), quando separadas dos agregados pelas gotas da chuva, são mantidas em suspensão pelo fluxo laminar e assim transportadas pela erosão. Parte das partículas finas (argilas) se acomoda entre os agregados maiores, formando um selo superficial. O transporte de partículas finas pela água de infiltração, obstrui os poros, havendo um decréscimo na condutividade da camada da superfície, resultando num escoamento maior e conseqüente perda do solo (REICHERT *et al.*, 2000). O aumento da densidade do solo nos dois intervalos de tempo analisados nas parcelas regulares deve estar ligado a esses fatores.

7.1.8 Volume total de poros

Após o primeiro ano de instalação do experimento o volume total de poros do solo foi maior apenas nas áreas irregulares menores (820 m²), ocorrendo diferença significativa nas duas profundidades (Tabela 14). No segundo ano não se verificou diferença significativa (Tabela 15). A intensa erosão que removeu a camada superficial do solo notadamente na área regular, conforme demonstrado na Tabela de perdas do solo (ver Apêndice P), foi uma das

causas da maior diminuição dos valores de VTP da área regular.

A estrutura do solo tem relação direta com a movimentação de água e ar no solo e por isso influencia o desenvolvimento das plantas, seja regulando a aeração (circulação do ar), suprindo água (armazenando e circulando), disponibilizando nutrientes, condicionando a sua temperatura, limitando a penetração das raízes e a atividade micro e macrobiótica (KOHNE, 1968). O maior volume total de poros das áreas irregulares no primeiro ano deve ter influenciado diretamente o movimento da água no solo e facilitado a aeração e a penetração das raízes da *Mimosa scabrella* nessas áreas, fato reforçado pelos dados da infiltração da água (Gráfico 29).

Anjos *et al.* (1994) ao analisar em dois tipos de solo sob tratamentos distintos (plantio direto, cultivo convencional com subsolagem) comparando-os com um de mata nativa, concluíram que a porosidade diminuiu significativamente pelos sistemas de uso e manejo. Sob mata nativa num Argissolo Vermelho o autor determinou uma porosidade de 51,35%, portanto abaixo da porosidade desse experimento em ambos tratamentos, após um ano de sua implantação. Porém, após o segundo ano desse experimento, todos os valores já eram menores, do que aquele encontrado pelo autor, em um Argissolo Vermelho (65,68%), sob mata nativa.

Tabela 14 – Volume total de poros médio (VTP – %) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 13 jan. 2005

	PROFUNDIDADE DO SOLO					
	0-5cm			15-20cm		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	62,85	63,29	0,460	58,18	55,86	0,205
Parcela 820	61,98	55,32	0,035	63,43	54,42	0,007
Média	62,41	59,31	0,134	60,81	55,14	0,005

Fonte: O autor (2007).

Tabela 15 – Volume total de poros médio (VTP – %) nas áreas com tratamentos irregular e regular – 28 fev. 2006

	PROFUNDIDADE DO SOLO					
	0-5cm			15-20cm		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	45,08	43,77	0,408	45,91	44,27	0,400
Parcela 820	46,99	42,31	0,133	45,65	45,57	0,494
Média	48,90	40,84	0,139	45,40	46,88	0,446

Fonte: O autor (2007).

7.1.9 Infiltração de água no solo

A análise do gráfico de infiltração da água no solo (Gráfico 29) evidencia uma grande variabilidade no coeficiente de infiltração de água. A análise granulométrica dos 30 centímetros superficiais dos solos (Tabela 16) evidencia a similaridade granulométrica entre as áreas e não explica a variabilidade do coeficiente de infiltração. A variabilidade deve ser reflexo do substrato utilizado no reafeiçoamento topográfico, dos tratamentos diferenciados do solo, dos processos erosivos posteriores e do efeito da vegetação, ocorridos no processo da recuperação ambiental.

Verificou-se na parcela Irregular de 820 m², uma taxa de infiltração superior a 110 l/m².dia⁻¹, resultado este esperado para aquele tratamento de solo em função do revolvimento do solo no processo de execução das rugosidades. Nas áreas irregulares também foram registrados a menor densidade do solo (Tabela 12) e o maior volume total de poros (Tabela 14). A infiltração da água no solo é um importante indicador de estruturação, agregação e transformação do material litólico (substrato) e melhoria na oferta de atributos ambientais, havendo uma relação direta entre o aumento do volume da água infiltrada no solo e a regeneração ambiental em processos de recuperação ambiental (RODRIGUES; SILVA; VALCARCEL, 2002). Os resultados da pesquisa da parcela irregular de 820 m² confirmam a premissa desses autores.

O preparo do terreno exerce um efeito temporário ao deixar o solo solto, aumentando a infiltração. No entanto, se a superfície do solo não estiver protegida por vegetação contra ação da chuva e do vento, haverá a consolidação da superfície com conseqüente redução da velocidade de infiltração (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). Nas áreas regulares os dois testes de infiltração (teste 2 e 3) evidenciam um comportamento similar (Gráfico 29) como reflexo da menor cobertura vegetal e maior erosão conforme demonstrado nessa pesquisa (Gráfico 35). O selamento do solo decorre do impacto das gotas da chuva na sua superfície, que por meio da destruição dos agregados favorece a formação de placa endurecida na superfície do solo dificultando a emergência de plântulas e a infiltração da água da chuva, o que favorece o escoamento superficial e a erosão (JORGE, 1986) que também contribui para o menor desenvolvimento geral da *Mimosa scabrella* nas áreas regulares.

Por outro lado no teste de número 1 (Gráfico 29), realizado na parcela Irregular de 1110 m², verificou-se a menor taxa de infiltração. Cabe destacar que dentro das rugosidades desta parcela, notadamente em sua porção inferior, os ensaios de umidade natural acusaram o maior valor registrado entre as parcelas (57,8%) conforme se observa na Tabela 11. Este fato

refletiu-se também no desenvolvimento da *Mimosa scabrella*.

Analisando os dados da biometria, constatou-se uma maior mortalidade da *Mimosa scabrella* nesta parcela, onde se observou ao longo do experimento um maior acúmulo de água nas rugosidades. Comparando-se as duas parcelas com tratamento irregular, os menores valores biométricos (diâmetro, altura e área de copa) da *Mimosa scabrella* foram também encontrados na parcela irregular 1110 m². Segundo Carpanezi (2002), a espécie *Mimosa scabrella* tem restrições quanto a solos com saturação hídrica.

Os solos saturados, por falta de drenagem e de macroporos, podem não dispor de aeração adequada, dificultando a intermutabilidade dos gases, que é importante para o desenvolvimento dos vegetais. A aeração dos solos pode se tornar crítica com excesso de umidade, deixando a permuta de gases insuficiente. Entre os vegetais superiores, em condições de aeração deficiente há uma restrição no crescimento (BRADY, 1989).

De acordo Jenny (1994 *apud* ABRAHÃO; MELLO, 1998) a manipulação de influências topográficas locais, determina condições específicas de microclima afetando a taxa de infiltração, de evaporação, de erosão e o ângulo de incidência da radiação solar, minimizando o ressecamento do solo e seus efeitos. O relevo é um fator controlador sobre o fluxo de materiais na superfície (erosão) e em profundidade (infiltração, lixiviação e translocação). Controla ainda a intensidade da radiação solar em função do ângulo e da orientação da encosta. No presente caso, a menor incidência da radiação solar na parcela irregular de 1100 m², a maior umidade do ar e as temperaturas do solo mais amenas, resultante das rugosidades do terreno podem ter sido responsáveis pela retenção da água nas rugosidades que se refletiram no menor crescimento da *Mimosa scabrella*, em pequena área notadamente na sua porção inferior, quando comparada com a área irregular de 822 m².

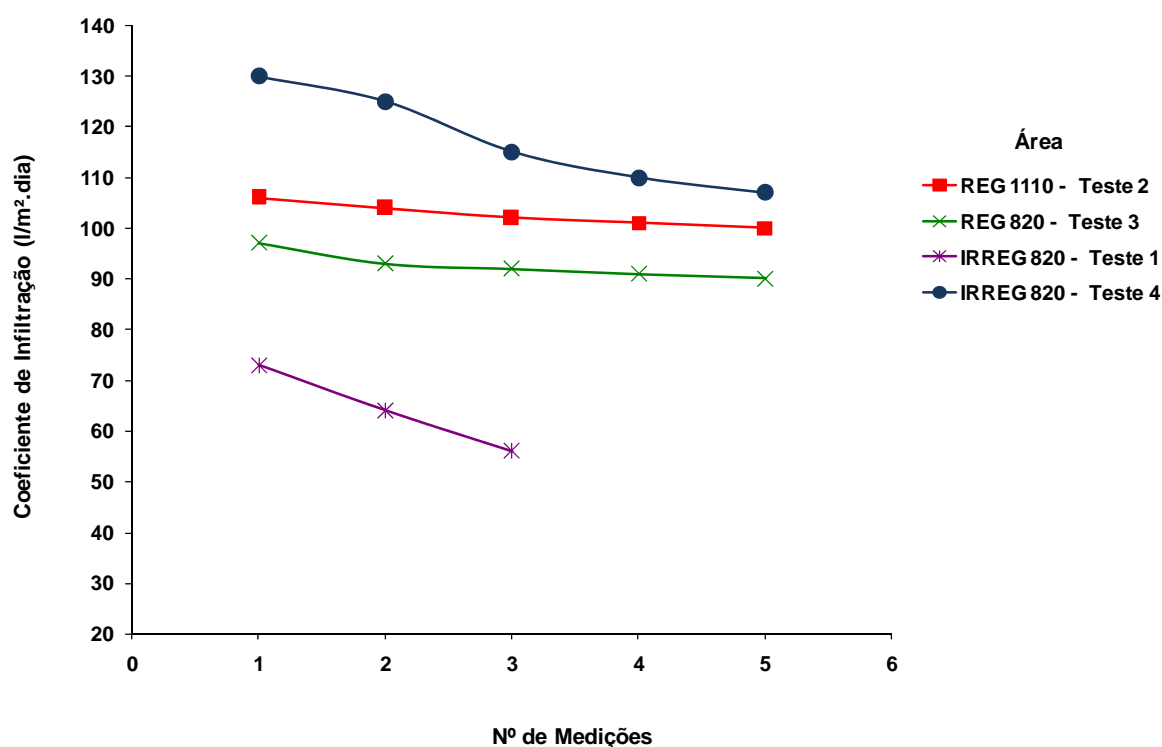


Gráfico 29 – Infiltração de água no solo nas áreas de tratamento irregular e regular

Fonte: O autor (2007).

Tabela 16 – Análises granulométricas dos 30 cm superficiais dos solos (%)

Classe	IRREGULAR	REGULAR	REGULAR	IRREGULAR	
	1110 m ²	1110 m ²	820 m ²	820 m ²	
	Teste 02 (%)	Teste 04 (%)	Teste 06 (%)	Teste 07 (%)	
Argila	11,2	14,1	19,7	14,8	
Silte	79,1	76,3	72,9	76,6	
Areia	Fina	6,3	7,7	6,7	6,9
	Média	2,6	1	0,5	1,7
	Grossa	0,1	0,3	0,2	0
Pedregulho	Fino	0,7	0,6	0	0
	Grosso	0	0	0	0

Fonte: O autor (2007).

7.1.10 Conservação da água e do solo

Os dados apresentados a seguir foram obtidos por Santiago (2005) durante a elaboração da sua dissertação de mestrado sob a orientação do autor dessa pesquisa, no programa de Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau.

Nos Gráficos 30 e 31, estão representados os totais precipitados e o volume de água da chuva escoado durante o período de coleta (abril de 2004 a janeiro de 2005). Nos Gráficos

32 e 33 estão representados juntos, as precipitações e os volumes de água escoados nas áreas regular (820 m²) e irregular (820 m²). Nos Gráficos 34 e 35 estão representados os coeficientes de escoamento e as perdas do solo e no Gráfico 36 é apresentado a granulometria dos sedimentos transportados pelo escoamento.

A distribuição das precipitações ocorridas em cada evento pluvioso é analisada por períodos nos quais houve coleta dos dados de água e de sedimentos no sistema experimental (Gráfico 30). No período de 27/02/2004 a 31/01/2005 houve uma precipitação total de 1201 mm. A menor precipitação (3,7 mm) ocorreu no período de 24 e 25 de julho de 2004 e a maior precipitação (308,4 mm), ocorreu no período de 23/09/2004 a 26/10/2004.

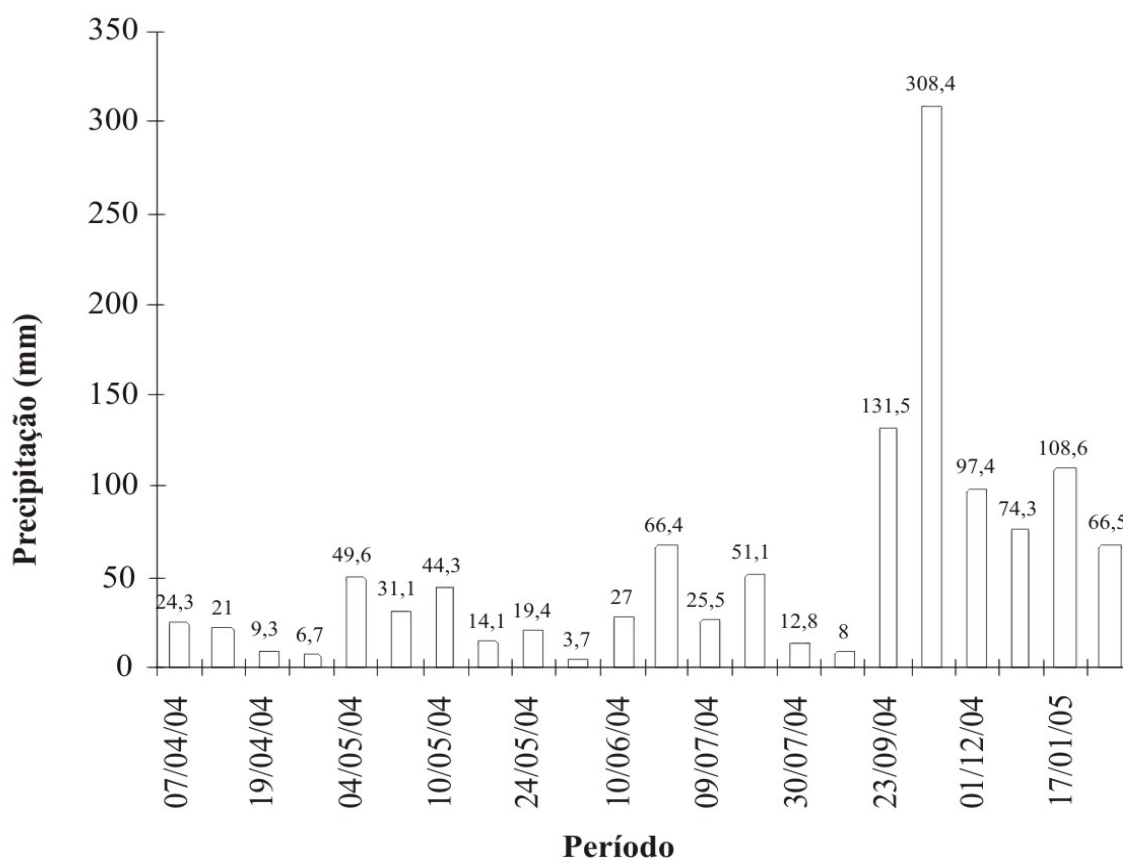


Gráfico 30 – Distribuição das precipitações medidas por evento pluvioso no período de coleta – jul. 2004 a jan. 2005

Fonte: Santiago (2005).

O volume de água escoado da parcela irregular 820 m² teve poucas variações, mantendo-se a média de 0,53 mm por evento pluvioso, atingindo seu maior valor no período de 23 de setembro à 26 de outubro de 2004, com 3,82 mm e, seu menor valor, de 0,14 mm, no período de 05 à 10 de maio de 2004 (Gráfico 31).

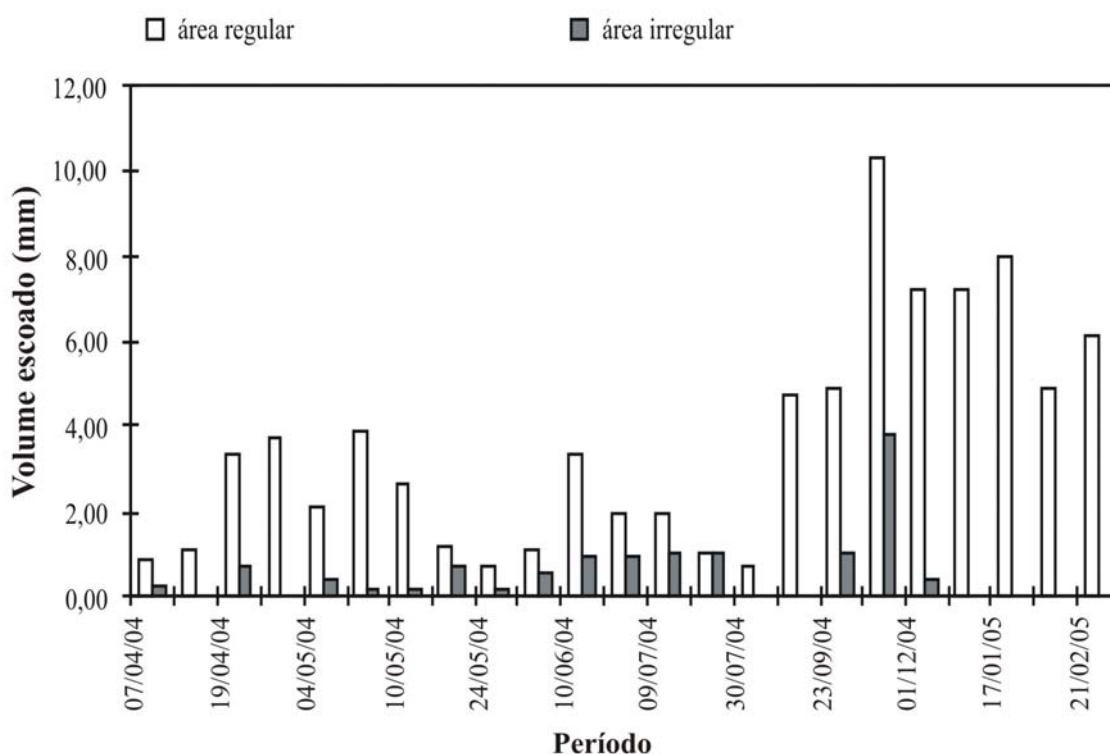


Gráfico 31 – Volumes de água da chuva escoados nas áreas regular e irregular no período de coleta

Fonte: Santiago (2005).

Na área regular 820 m² houve grandes variações de volume de água escoado, apresentando uma média de 3,61 mm por evento pluvioso. O valor máximo de escoamento foi de 10,23 mm, no período de 23 de setembro e 26 de outubro de 2004 e o mínimo foi de 0,74 mm, no período compreendido de 13 de maio a 24 de maio de 2004 (Gráfico 31).

A área regular teve maior escoamento superficial de água durante o experimento. Considerando o período total do experimento (julho de 2004 a janeiro de 2005) constata-se que o volume escoado na área regular (83,13 mm) foi 6,8 vezes superior ao da área irregular (12,19 mm).

Quando confrontado o índice de precipitação e volume escoado em separado para a área regular e irregular (Gráficos 32 e 33) observa-se que:

- na área irregular apesar de ocorrerem pluviosidades de 74,3 mm (de 1º dezembro a 20 de dezembro de 2004) e 108,6 mm, no período de 20 de dezembro de 2004 à 17 de janeiro de 2005, não houve escoamento superficial;
- na área irregular houve uma tendência de redução do escoamento superficial, ocorrendo valores nulos a partir de 01/12/2004;
- na área regular as precipitações sempre geraram escoamentos superficiais.

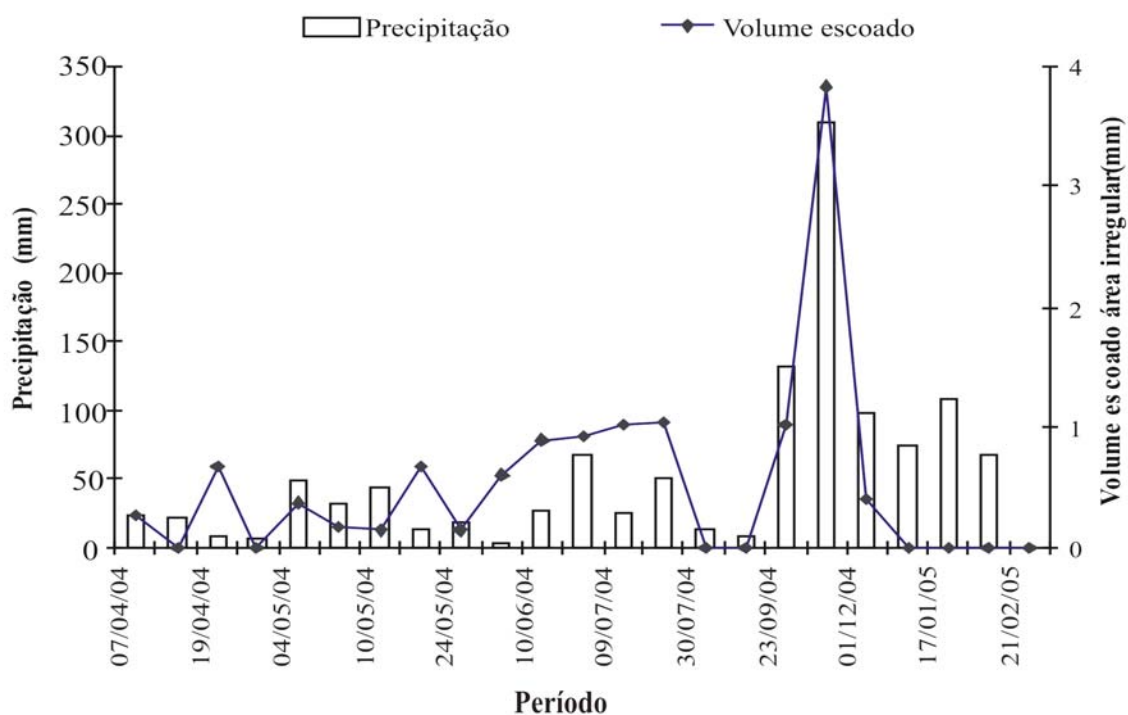


Gráfico 32 – Precipitação e volume de água da chuva escoado na área irregular

Fonte: Santiago (2005).

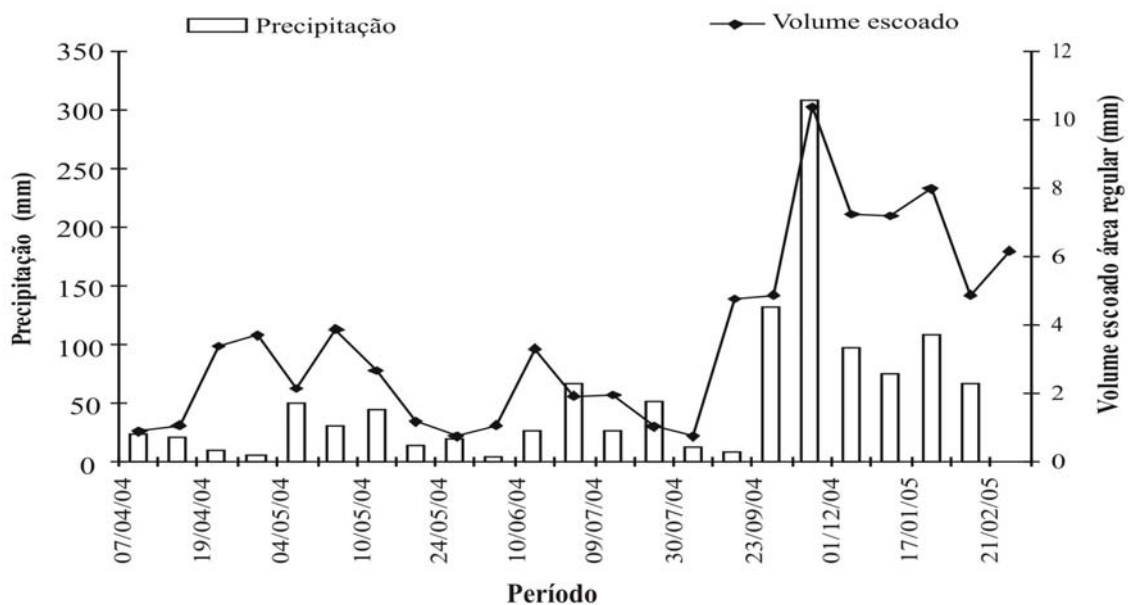


Gráfico 33 – Precipitação e volume de água da chuva escoado na área regular

Fonte: Santiago (2005).

A redução do escoamento na área irregular 820 m^2 foi devido à maior capacidade de infiltração de água no solo (Gráfico 29) e à maior capacidade de retenção superficial causada

pelas rugosidades e pelo maior desenvolvimento da vegetação. A água retida nas rugosidades infiltra-se no solo, evapora-se ou é absorvida pela vegetação. Na área regular a taxa de infiltração foi menor e devido à ausência de grandes rugosidades na superfície houve maior escoamento superficial. O aumento de escoamento resultou em maior velocidade da água de escoamento superficial e conseqüentemente houve um aumento da vazão máxima e redução de resposta dessa área experimental.

7.1.11 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial é obtido pela relação entre o volume precipitado e o volume escoado, representando assim a parcela do volume precipitado que escoou superficialmente.

A análise da tabela do coeficiente de escoamento (ver Apêndice O) e do Gráfico 34 do coeficiente de escoamento nas áreas regular e irregular evidencia uma grande variação no escoamento superficial.

Na área regular o coeficiente de escoamento foi maior e mais variável, atingindo um pico no período de 30/07/24 a 02/08/04. Na área irregular ocorrem os mais baixos coeficientes de escoamento, havendo uma tendência de diminuição temporal. Mesmo no período de maior pluviosidade, com precipitação de 308,4 mm não ocorreu escoamento superficial. Os coeficientes de escoamento médio foram de 0,133 para a área regular e 0,030 para a área irregular, o que corresponde a 4,43 vezes maior na área regular.

Os fatores que contribuíram para minimização do coeficiente de escoamento na área irregular foram o maior volume total de poros do solo (VTP), a menor densidade do solo, a maior infiltração de água, a presença das rugosidades que retiveram água internamente no sistema e o maior desenvolvimento da vegetação. Na realidade todos esses fatores estão interligados entre si, constituindo complexas interações passíveis de modelagem com círculos de causalidade.

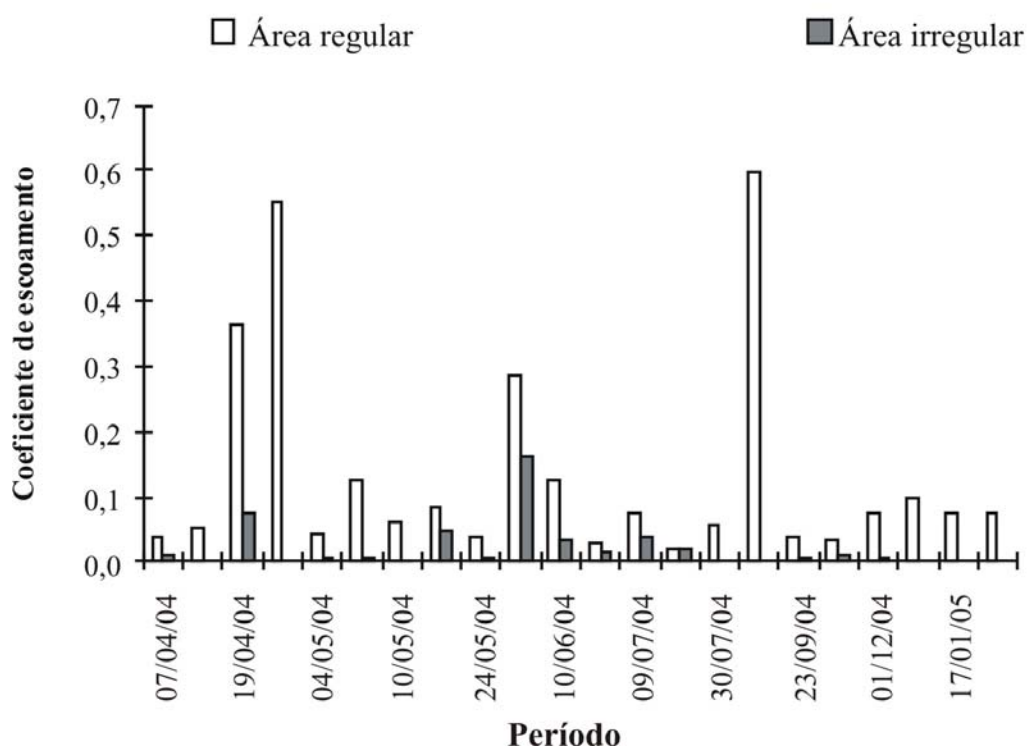


Gráfico 34 – Coeficiente de escoamento das áreas regular e irregular

Fonte: Santiago (2005).

7.1.12 Perda de solo e análise granulométrica dos sedimentos transportados

As perdas do solo no período de 23/03/04 a 21/02/05 estão apresentadas no Apêndice P e no Gráfico 35. Nota-se que a perda de solo na área irregular foi de $0,87 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ contra $3,54 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ na regular, correspondendo 4,06 vezes mais nessa última.

Na primeira medição, de 27/03/2004 a 7/04/2004, houve maior perda de solo na área irregular por consequência da maior declividade da borda das rugosidades. No entanto, a área regular, em geral, apresentou maior escoamento superficial porque toda a superfície da área contribui para o escoamento, apresentando por isso maior pendente (comprimento de rampa), resultando por isso temporalmente, em 4,06 vezes mais perda de solo (ver Apêndice O).

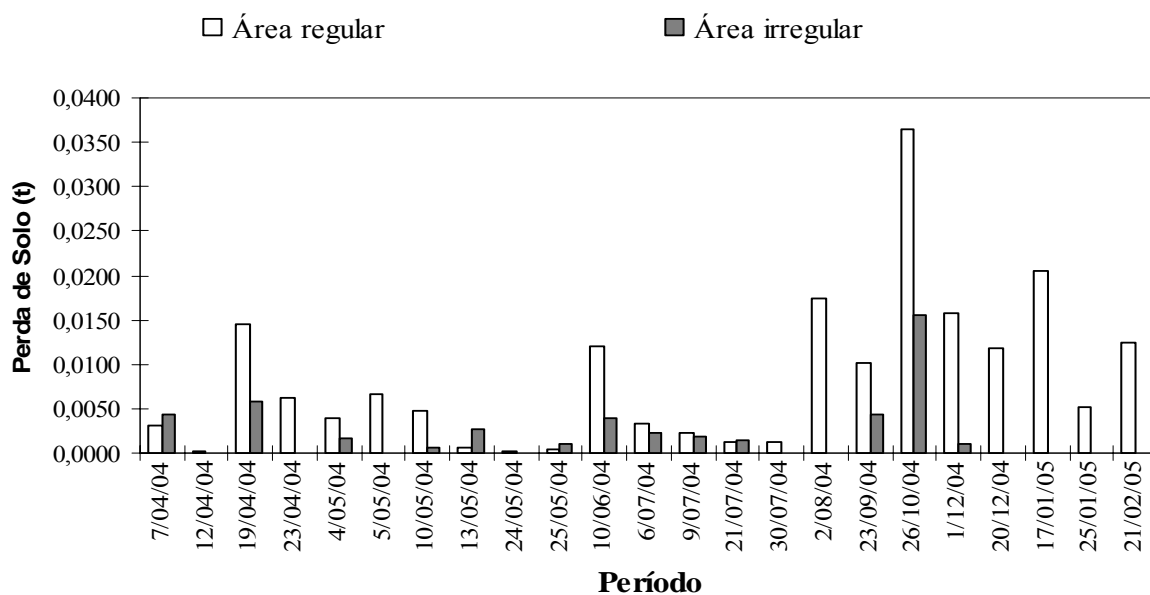


Gráfico 35 – Perda de solo nas áreas regular e irregular em tonelada

Fonte: Santiago (2005).

A análise da granulometria dos sedimentos contidos no Gráfico 36 demonstra que a argila transportada da área irregular para fora do sistema, no período 04/2004 até 01/2005, foi de 10,5%, contra 5,42% na área regular, representando aproximadamente duas vezes mais. A instabilidade do sistema devido ao solo revolvido, provocado pela criação das rugosidades deixou o solo mais facilmente erodível. No entanto as perdas de areia foram maiores nas áreas regulares. De acordo com Reichert *et al.* (2000) as partículas mais finas ao serem separadas dos agregados são mantidas em suspensão pelo fluxo laminar e transportadas mais facilmente que as partículas e agregados maiores.

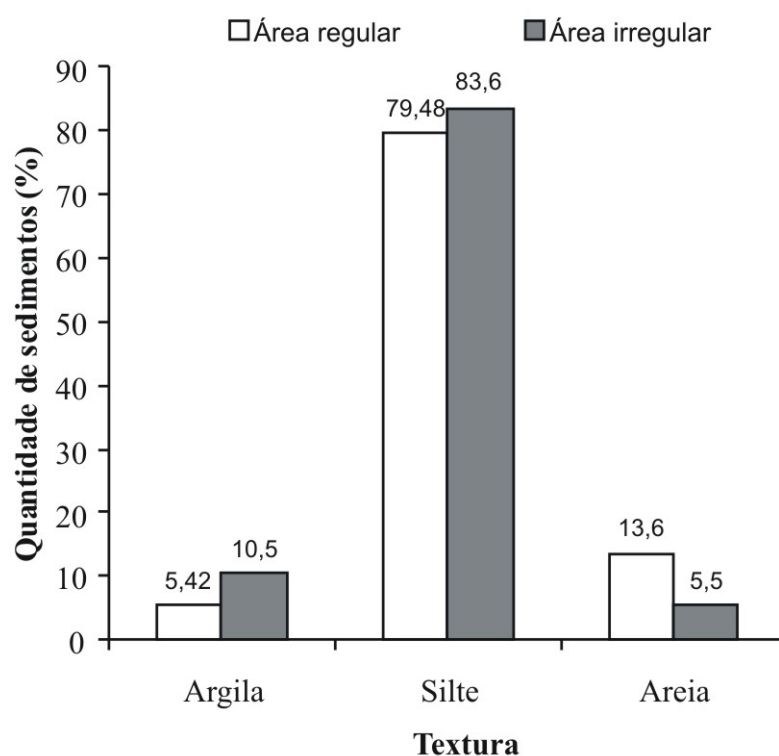


Gráfico 36 – Granulometria dos sedimentos transportados pelo escoamento (%)

Fonte: Santiago (2005).

7.1.13 Análises químicas

Através dos resultados de análises químicas do solo de maio de 2004, março de 2005 e maio de 2006 não se verificam variações expressivas da fertilidade do solo (Tabelas 17 e 18). Nas áreas irregulares ao final de dois anos houve uma diminuição significativa apenas no K, e um aumento na porcentagem de saturação CTC-Al e na relação C/K. Comportamento similar foi verificado nas áreas regulares para a % de saturação CTC-Al e na relação C/K e uma diminuição no teor de matéria orgânica.

Em 2004 o teor de K nas áreas regulares era maior enquanto que os de $H^+ Al$ ($cmolc/dm^3$) e de CTC ($cmolc/dm^3$) eram maiores nas áreas irregulares. Essas diferenças entre as duas áreas desaparecem ao final do experimento, o que pode ser consequência da heterogeneidade do substrato no início do experimento. No entanto, cabe destacar o aumento de % de saturação CTC-Al que aumentou de 19,41% (2004) para 85,15% (2006) nas áreas irregulares e de 21,78% (2004) para 83,65% (2006) nas áreas regulares, demonstrando uma ocupação do CTC pelo Al. Houve também um aumento expressivo nas relações de Ca/K que variou de 0,73% (2004) para 12,19% (2006) nas áreas irregulares e de 0,87% (2004) para

12,38% (2006) nas áreas regulares.

De acordo com Souza *et al.* (2006) pequenas variações das formas de relevo influenciam a variabilidade espacial de atributos químicos do solo. Esta variabilidade é condicionada pela posição dos solos na paisagem ou no declive, mesmo que o relevo seja de pequena extensão. Na presente pesquisa o período de tempo não foi suficiente para gerar diferenças químicas expressivas. A implantação das rugosidades cria um aumento de erosão e lixiviação nas formas convexas e conseqüentemente um correspondente direto de sedimentação e retenção nas concavidades da área (AUMOND, 2003). Experiências de campo mostram que, como conseqüência da erosão dos nutrientes ocorrentes nas camadas superiores, esses são incorporados ao solo erodido, e por isso os solos depositados nas partes baixas são mais ricos em nutrientes que o próprio solo erodido (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Ao contrário do cerrado, cujas plantas têm alto poder de rebrota (DURIGAN *et al.*, 1989), e dependem da capacidade de sobreviver à estação seca (FRANCO *et al.*, 1996), o revolvimento do solo, benéfico para ativar o banco de sementes em áreas florestais, tem efeito negativo (DURIGAN *et al.*, 1989), e as características do solo são fortes condicionantes da composição e estrutura da vegetação (HARRIDASAN, 2000). Nessa pesquisa constatamos que o revolvimento do substrato e do solo tem efeito positivo no estabelecimento da vegetação e as características químicas não são fortes determinantes no processo de revegetação. Estes fatos se devem a maior disponibilidade de água na região, incorporada ao sistema pela retenção nas rugosidades acelerando as reações químicas de substrato.

Tabela 17 – Análise química do solo no tratamento regular e no tratamento irregular, obtida através de amostra indeformada – 2004 e 2006

	REGULAR			IRREGULAR		
	2004	2006	P _{Calc}	2004	2006	P _{Calc}
Argila (%)	32,00 (± 1,26)	36,38 (± 2,72)	0,001	33,06 (± 2,82)	34,75 (± 6,06)	0,237
P (mg/dm ³)	3,39 (± 0,24)	3,48 (± 0,42)	0,301	3,55 (± 0,56)	4,49 (± 2,41)	0,157
K (mg/dm ³)	62,38 (± 13,07)	44,50 (± 15,07)	0,007	54,13 (± 5,91)	38,50 (± 4,75)	1,10x10 ⁻⁰⁶
% M.O. (m/v)	3,56 (± 0,51)	3,24 (± 0,10)	0,014	3,34 (± 0,63)	3,46 (± 1,07)	0,390
Al (cmolc/dm ³)	7,29 (± 1,57)	8,06 (± 0,75)	0,058	7,09 (± 0,69)	8,36 (± 1,18)	0,010
H + Al (cmolc/dm ³)	33,89 (± 3,51)	32,80 (± 4,49)	0,280	36,20 (± 3,92)	36,32 (± 5,32)	0,478
CTC (cmolc/dm ³)	33,95 (± 3,34)	34,36 (± 4,40)	0,411	36,65 (± 3,92)	37,75 (± 5,36)	0,308
% Saturação CTC-Al	21,68 (± 5,49)	83,65 (± 1,98)	1,18x10 ⁻²¹	19,41 (± 1,22)	85,15 (± 2,12)	1,61x10 ⁻¹⁴
Relações – Ca/K	0,87 (± 0,39)	12,38 (± 3,46)	1,63x10 ⁻⁰⁵	0,73 (± 0,10)	12,19 (± 1,42)	3,97x10 ⁻⁰⁸
Relações – Mg/K	1,63 (± 0,65)	1,48 (± 0,45)	0,249	1,79 (± 0,45)	1,57 (± 0,65)	0,208

Fonte: O autor (2007).

Tabela 18 – Análise química comparativa de algumas características químicas do solo entre o tratamento regular e o tratamento irregular, obtida através de amostra indeformada – 2004 e 2006

	2004			2006		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Argila (%)	32,00 (± 1,26)	33,06 (± 2,82)	0,092	36,38 (± 2,72)	34,75 (± 6,05)	0,253
P (mg/dm ³)	3,39 (± 0,24)	3,55 (± 0,56)	0,149	3,48 (± 0,42)	4,49 (± 2,41)	0,141
K (mg/dm ³)	62,38 (± 13,07)	54,13 (± 5,91)	0,016	44,50 (± 15,07)	38,50 (± 4,75)	0,157
% M.O. (m/v)	3,56 (± 0,51)	3,34 (± 0,63)	0,151	3,24 (± 0,10)	3,46 (± 1,07)	0,287
Al (cmolc/dm ³)	7,29 (± 1,57)	7,09 (± 0,69)	0,328	8,06 (± 0,75)	8,36 (± 1,18)	0,278
H + Al (cmolc/dm ³)	33,89 (± 3,51)	36,20 (± 3,92)	0,045	32,80 (± 4,49)	36,32 (± 5,32)	0,087
CTC (cmolc/dm ³)	33,95 (± 3,34)	36,65 (± 3,93)	0,023	34,36 (± 4,40)	37,75 (± 5,36)	0,095
% Saturação CTC-Al	21,68 (± 5,49)	19,41 (± 1,22)	0,063	83,65 (± 1,98)	85,15 (± 2,12)	0,083
Relações - Ca/K	0,87 (± 0,39)	0,73 (± 0,10)	0,082	12,38 (± 3,46)	12,19 (± 1,42)	0,444
Relações - Mg/K	1,63 (± 0,65)	1,79 (± 0,45)	0,226	1,48 (± 0,45)	1,57 (± 0,65)	0,371

Fonte: O autor (2007).

Os resultados das análises químicas não mostraram variações expressivas devido ao pequeno intervalo de tempo de análise e como a adubação química foi rigorosamente igual nos dois tratamentos fica descartada essa hipótese como causa da diferenciação da vegetação.

7.2 VARIÁVEIS BIÓTICAS

7.2.1 Taxa de mortalidade

O número de indivíduos de bracinga que pereceram foi maior nas duas áreas irregulares em relação às áreas regulares, no entanto essa diferença não é significativa estatisticamente (Gráfico 37 e Tabela 19). A maior mortandade nas áreas irregulares se deve a existência de maior umidade contida nas rugosidades, que pode ser um fator limitante para a *Mimosa scabrella*. A taxa de sobrevivência nas áreas regulares foi de 87,23% enquanto nas irregulares foi de 83,54% portanto inferior àquela encontrada em trabalho similar na região por Regensburguer (2004) que obteve acima de 92%, enquanto Figueredo (2006) acusou 0,929% na mesma área de mineração. A densidade de indivíduos no experimento, projetada para um hectare, foi de 4501/ha. Estudos de Nappo, Oliveira Filho e Martins (2000) registraram o declínio de *Mimosa scabrella* em povoamento puro, confirmado também em Nappo *et al.* (2004). Para esses autores, a *Mimosa scabrella* em povoamento puro, após cumprir seu papel de “facilitadora” da sucessão, em um segundo momento com o declínio do

povoamento e conseqüente abertura do dossel favorece o aparecimento de espécies secundárias.

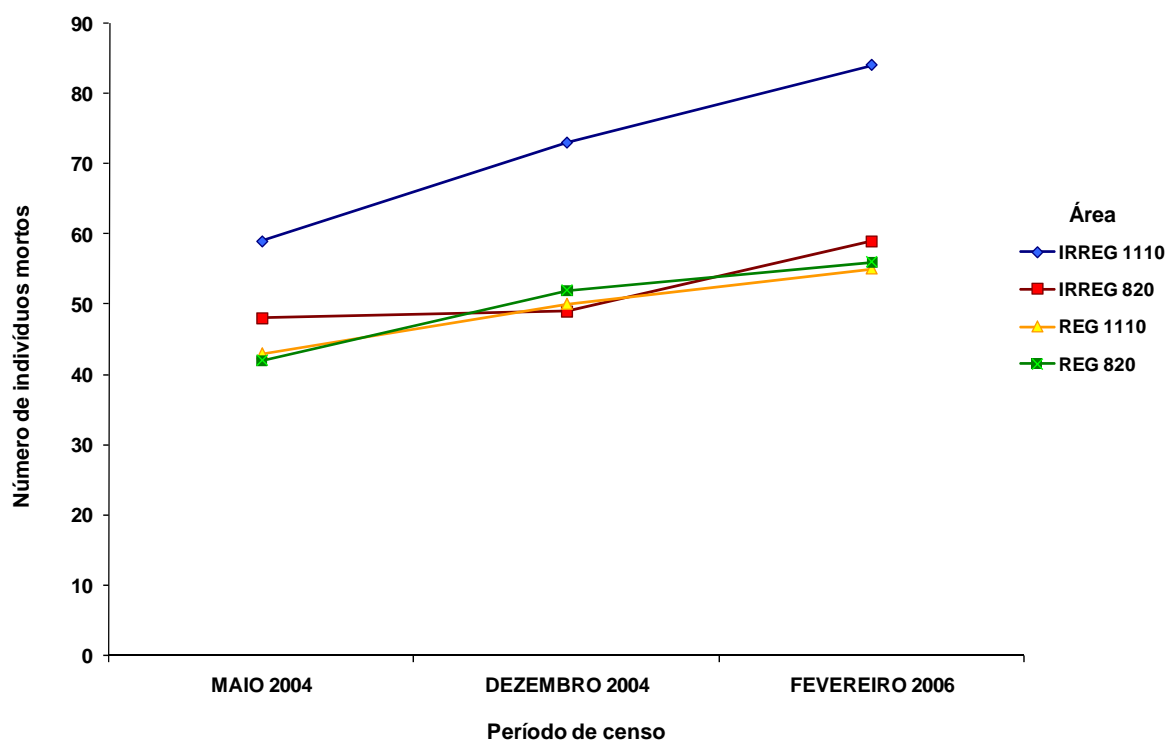


Gráfico 37 – Mortalidade de *Mimosa scabrella* – no período da pesquisa até fevereiro de 2006

Fonte: O autor (2007).

Tabela 19 – Taxa de sobrevivências de *Mimosa scabrella* após dois anos, referente aos tratamentos na recuperação de área degradada, realizada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – no período da pesquisa até fevereiro de 2006

	Nº plant.	MAIO 2004			DEZ 2004			FEV 2006		
		Mortos	% Mort.	% Sobrev.	Mortos	% Mort.	% Sobrev.	Mortos	% Mort.	% Sobrev.
Irregular	869	107	12,31	87,69	122	14,04	85,96	143	16,46	83,54
Regular	869	85	9,78	90,22	102	11,74	88,26	111	12,77	87,23

Fonte: O autor (2007).

A taxa de mortalidade encontrada entre 12,77% e 16,46% após dois anos de observações do presente estudo foi muito semelhante a encontrada por Machado *et al.*(2002), que avaliando a taxa de mortalidade de bracatingais nativos em diferentes densidades constatou que em bracatingal com densidade de 4 mil plantas/ha, após 2 dois anos do plantio, apresentou uma taxa de mortalidade de 12% e após 6 anos, apresentou um percentual de

mortalidade de 55%. Considerando os dois primeiros anos, a taxa de mortalidade foi menor que a encontrada na atual pesquisa, porém há que se considerar os aspectos inerentes ao tratamento de solo, em que foi utilizado um substrato de folhelho e a condição de umidade das rugosidades. Segundo Machado *et al.* (2002) a mortalidade é tanto maior quanto maior for a densidade inicial do bracatingal.

No estudo de Pereira *et al.* (1999) sobre o desenvolvimento de espécies florestais de rápido crescimento visando a recomposição de matas ciliares, os autores observaram uma mortalidade de 75% para a espécie *Mimosa scabrella* num de seus sítios experimentais que sofreu encharcamento do solo. O trabalho de Pereira *et al.* (1999), assim como os resultados obtidos pelo presente estudo reforçam as afirmações de Carpanezzi e Carpanezzi (1992), Carvalho (2003) e EMBRAPA (1998), sobre o fato que solos mal drenados são a principal restrição edáfica ao desenvolvimento da espécie.

Pomianoski (2005) avaliou o índice de sobrevivência em sistemas agroflorestais após o corte raso de um bracatingal existente e acompanhou a regeneração natural, onde a sobrevivência variou entre 47,7 e 63,2% para os tratamentos que sofreram a queima dos resíduos do desbaste da bracatinga e 28,4% no tratamento que não sofreu queima.

Os dados apresentados por Rachwal *et al.* (2000), sobre a recuperação de floresta ciliar no Rio Cascavel, município de Campo do Tenente/PR, demonstraram que a taxa de sobrevivência da *Mimosa scabrella* foi de 80% aos três anos de avaliação, portanto menor do que o obtido na presente pesquisa.

7.2.2 Diâmetro do caule a 5 cm do solo

Na Tabela 20 está apresentado o incremento em diâmetro ao longo dos dois anos de observações. As parcelas irregulares apresentaram valores de diâmetro, superiores e estatisticamente diferentes dos valores encontrados nas parcelas regulares. As diferenças entre as parcelas de mesmo tratamento no incremento em diâmetro também foram estatisticamente significativas.

No Gráfico 38 se visualiza a evolução da diferenciação da variação do diâmetro basal da *Mimosa scabrella* no período analisado.

O maior valor de incremento em diâmetro após dois anos de observações foi encontrado na parcela irregular de 820 m², a qual atingiu os 59,50 mm, valor este, superior aos 37 mm encontrado por Pereira *et al.* (1999) para a espécie *Mimosa scabrella* após 39 meses.

Tabela 20 – Variações no diâmetro basal médio (mm) do caule de *Mimosa scabrella*, referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. a 2004/fev. 2006

	ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO								
	Maio 2004			Dezembro 2004			Fevereiro 2006		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	9,39	14,48	1,69x10 ⁻⁴³	27,53	35,72	3,47x10 ⁻¹⁹	43,74	56,19	2,51x10 ⁻²¹
Parcela 820	7,42	15,03	2,52x10 ⁻⁷²	20,58	35,92	4,79x10 ⁻⁷²	37,56	59,56	1,04x10 ⁻⁶⁴
Média	8,51	14,73	1,2x10 ⁻¹¹⁰	24,45	35,81	3,53x10 ⁻⁷⁰	41,00	57,73	5,4x10 ⁻⁷²

Fonte: O autor (2007).

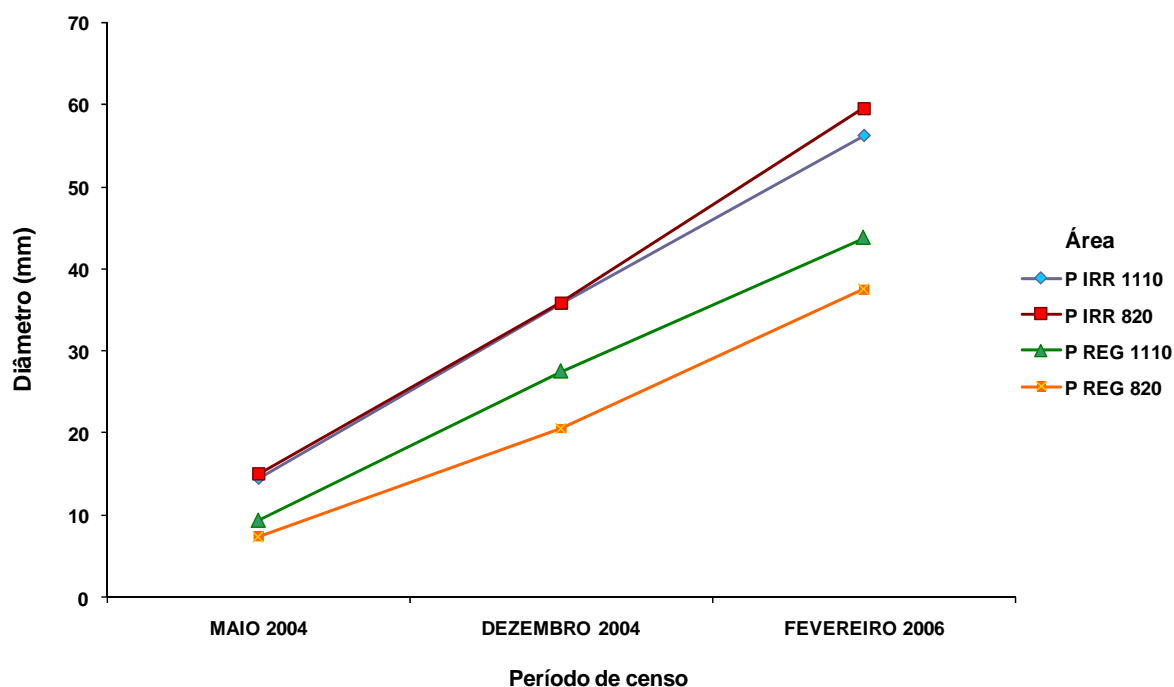


Gráfico 38 – Diâmetro basal (mm) de *Mimosa scabrella* a 5 cm do solo – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

Bertalot *et al.* (2004) em trabalho para avaliar a produção de biomassa, a concentração e o acúmulo de macronutrientes de serapilheira de quatro espécies de leguminosas arbóreas, entre elas *Mimosa scabrella*, obteve, 70 mm de diâmetro após 24 meses de estudos.

7.2.3 Diâmetro do caule a altura do peito

As medidas de diâmetro a altura do peito (DAP) medidas três anos após a implantação do experimento foram maiores nas áreas irregulares e quando comparadas com as áreas regulares foram significativamente maiores.

Tabela 21 – Diâmetro médio (mm) na altura do peito do caule de *Mimosa scabrella* referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – fev. 2006

	FEVEREIRO 2006		
	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	22,04	34,13	$1,21 \times 10^{-26}$
Parcela 820	15,90	38,52	$2,5 \times 10^{-102}$
Média	19,32	36,14	$8,05 \times 10^{-101}$

Fonte: O autor (2007).

Pomianoski (2005) obteve médias de DAP para *Mimosa scabrella* entre 14 mm e 15mm após um ano de observações, sem que houvesse diferença estatística entre os tratamentos. Rachwal *et al.* (2000), encontrou média de incremento em DAP de 117,5 mm para a *Mimosa scabrella* aos três anos de avaliação.

7.2.4 Altura média dos indivíduos

Na Tabela 22 são apresentadas as alturas médias das bracingas, ao longo dos 24 meses de avaliação, além das Fotos 30, 31, 32, 33, 34 e 35 para ilustrar o desenvolvimento das plantas ao longo do experimento. Encontrou-se diferenças entre os tratamentos, mas o crescimento das plantas, de modo geral, confirma o seu aspecto ecológico como espécie pioneira de rápido crescimento (BURKART, 1978).

Tabela 22 – Variações na altura média (mm) total de *Mimosa scabrella*, referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

	ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO								
	Maio 2004			Dezembro 2004			Fevereiro 2006		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	59,50	104,82	$1,9 \times 10^{-54}$	210,16	268,13	$1,2 \times 10^{-22}$	327,64	453,57	$1,4 \times 10^{-41}$
Parcela 820	45,96	105,51	$2,8 \times 10^{-77}$	163,25	293,09	$3,1 \times 10^{-95}$	270,18	525,77	$3,8 \times 10^{-150}$
Média	50,36	105,13	$7,6 \times 10^{-142}$	176,54	279,43	$3,9 \times 10^{-124}$	279,89	486,69	$2,1 \times 10^{-204}$

Fonte: O autor (2007).

A análise do gráfico das alturas médias das bracatingas (Gráfico 39) demonstrou um crescimento contínuo tanto nas áreas irregulares como nas regulares. No entanto, a partir das medidas realizadas em dezembro de 2004 a altura das plantas nas áreas irregulares continuou a aumentar de forma acelerada, enquanto nas regulares houve uma desaceleração do crescimento, representado pelo ângulo da reta das medidas realizadas entre dezembro de 2004 e fevereiro de 2006. Percebe-se uma diferenciação crescente entre a altura média das arbóreas em relação às áreas regulares (Tabela 22 e Gráfico 39).

As médias de crescimento em altura de *Mimosa scabrella* na área irregularizada de 820 m² do presente estudo com dois anos após o plantio (525 mm) foi superior ao encontrado por Pereira, Botelho e Davide (1999) nos sítios 2 (220 mm) e 3 (390 mm).

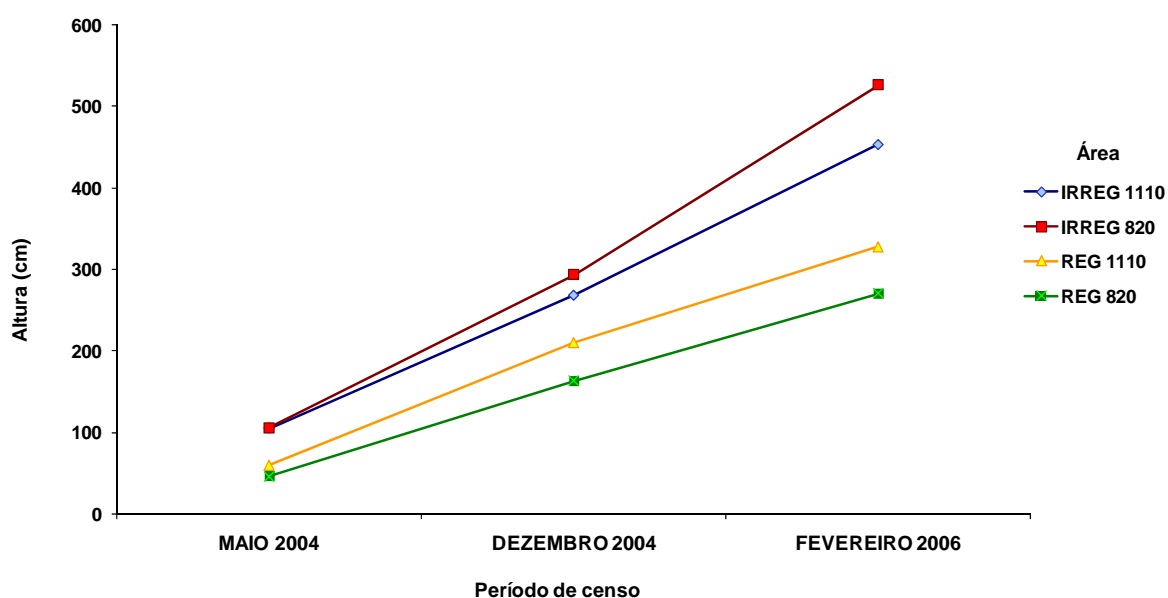


Gráfico 39 – Altura média total (cm) dos indivíduos de *Mimosa scabrella* – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

A comparação da altura média dos indivíduos das áreas irregulares com as áreas regulares, evidenciou um crescimento expressivamente maior nas áreas irregulares. A análise estatística também demonstrou uma diferença significativa do crescimento da *Mimosa scabrella* entre as parcelas com mesmo tratamento do solo. Regensburguer (2004) em experimento comparando áreas regulares e irregulares, adubação orgânica e adição de serrapilheira não constatou diferenças significativas na mesma região após nove meses do plantio entre as topografias diferenciadas, encontrando médias máximas em altura de 262 mm para o tratamento topográfico irregularizado com adubação química e 248 mm para o

tratamento regular com adubação orgânica. Figueredo *et al.* (2006) analisando um menor número de indivíduos no experimento da presente pesquisa constataram que houve variação significativamente maior com tratamento irregular do terreno após 15 meses do plantio.

A comparação dos resultados do presente estudo com os trabalhos de recuperação na faixa marginal dos reservatórios de Camargos (sítio 1 e 2) e de Itutinga (sítio 3), Carrancas, MG, realizado por Pereira *et al.* (1999) que encontraram altura das bracatingas de 580 mm no sítio 1 aos 28 meses de idade, juntamente com o trabalho de Carpanezi (1994) em um Sistema Agroflorestal Tradicional onde encontraram 383 mm e 607 mm em um Sistema Florestal Melhorado, ambos com 28 meses, permite considerar o crescimento das bracatingas do presente estudo satisfatório após 24 meses de observações.

Bertalot *et al.* (2004) que objetivaram avaliar a produção de biomassa, a concentração e o acúmulo de macronutrientes de serapilheira de quatro espécies de leguminosas arbóreas, entre elas *Mimosa scabrella*, obtiveram, aos 24 meses de idade, 442 mm de altura.

Primavesi *et al.* (1997) em trabalho realizado na região de São Carlos, SP, registraram altura média de 650 mm para *Mimosa scabrella* após dois anos de observações, mesmo a espécie apresentando índices de mortalidade de 40%, após o ataque das saúvas.

Davide e Faria (1997) obtiveram as maiores médias de altura com as espécies *Acacia auriculiformis*, *Mimosa scabrella* e *Piptadenia gonoacantha* (895 mm, 811 mm e 803 mm, respectivamente) após cinco anos de acompanhamento, no trabalho de revegetação de uma área de empréstimo da usina hidrelétrica de Camargos, MG.

Após um ano de observações, Pomianoski (2005) obteve médias de altura para *Mimosa scabrella* entre 326 mm a 352 mm, não havendo diferenças estatísticas entre os tratamentos.

A média de incremento em altura da espécie *Mimosa scabrella* encontrada por Rachwal *et al.* (2000), foi 877 mm após três anos de avaliação.

Nessa pesquisa confirmou-se a importância da *Mimosa scabrella* na recuperação de áreas degradadas por se desenvolver mesmo em condições edáficas adversas, pela elevada produção de biomassa e por facilitar a sucessão secundária conforme defendido por diversos autores (CARPANEZZI; CARPANEZZI, 1992; FRANCO; DIAS; FARIA, 1992; CALLAWAY, 1995; NAU; SEVEGNANI, 1997; REIS; ZAMBONIN; NAKASONO, 1999; REGENSBURGER, 2000).



Foto 30 – Situação das arbóreas após um (1) mês do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – fev. 2004

Fonte: Aumond (2004).



Foto 31 – Situação das arbóreas após dois meses e meio (2,5) do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – abr. 2004

Fonte: Aumond (2004).



Foto 32 – Situação das arbóreas após seis (6) meses do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – jul. 2004

Fonte: Aumond (2004).

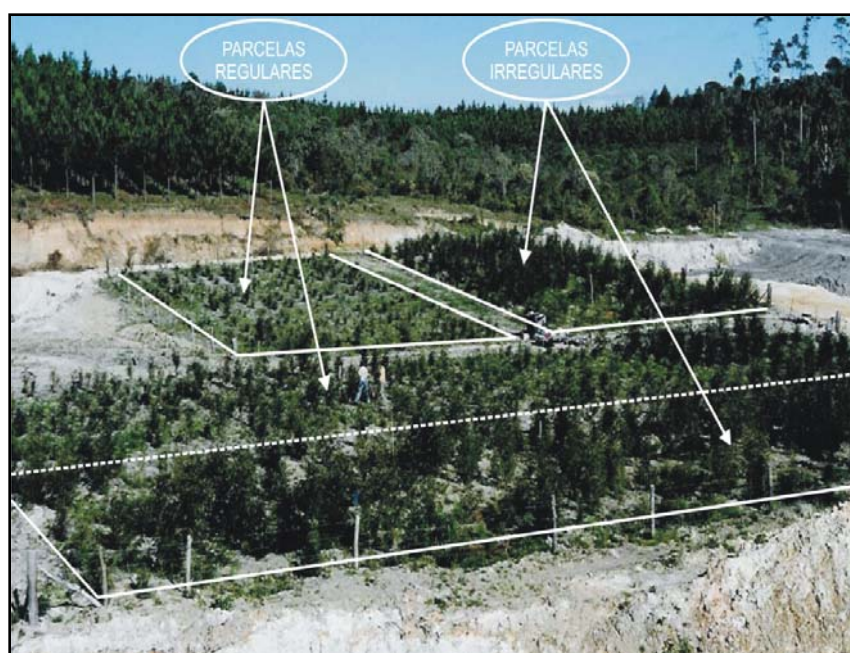


Foto 33 – Situação das arbóreas após sete (7) meses do plantio, em Doutor Pedrinho, SC – ago. 2004

Fonte: Aumond (2004).



Foto 34 – Situação das arbóreas após dois (2) anos do plantio. Na direita área regular (820m²); na esquerda área irregular (820 m²), em Doutor Pedrinho, SC – jan. 2006

Fonte: Aumond (2006).



Foto 35 – Situação das arbóreas após dois (2) anos do plantio. Em primeiro plano área regular (820m²); em segundo plano área irregular (820 m²), em Doutor Pedrinho, SC – jan. 2006

Fonte: Aumond (2006).

7.2.5 Área da copa

Observou-se que os indivíduos de *Mimosa scabrella* nas parcelas com solo irregularizado, apresentaram maiores áreas médias de copas (Tabela 23).

Tabela 23 – Médias da área de copa (m^2) de *Mimosa scabrella*, referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

	ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO								
	Maio 2004			Dezembro 2004			Fevereiro 2006		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	0,09	0,25	$2,12 \times 10^{-50}$	0,95	1,43	$2,85 \times 10^{-12}$	1,83	3,13	$4,03 \times 10^{-24}$
Parcela 820	0,05	0,25	$7,76 \times 10^{-55}$	0,52	1,67	$6,52 \times 10^{-75}$	1,41	3,66	$2,46 \times 10^{-59}$
Média	0,07	0,25	$1,06 \times 10^{-103}$	0,76	1,54	$2,10 \times 10^{-61}$	1,65	3,37	$2,13 \times 10^{-75}$

Fonte: O autor (2007).

Verificou-se um comportamento semelhante àquele das alturas médias das plantas, evidenciando uma diferenciação crescente entre os dois tipos de tratamentos com maior incremento para os indivíduos das áreas irregulares (Gráfico 40).

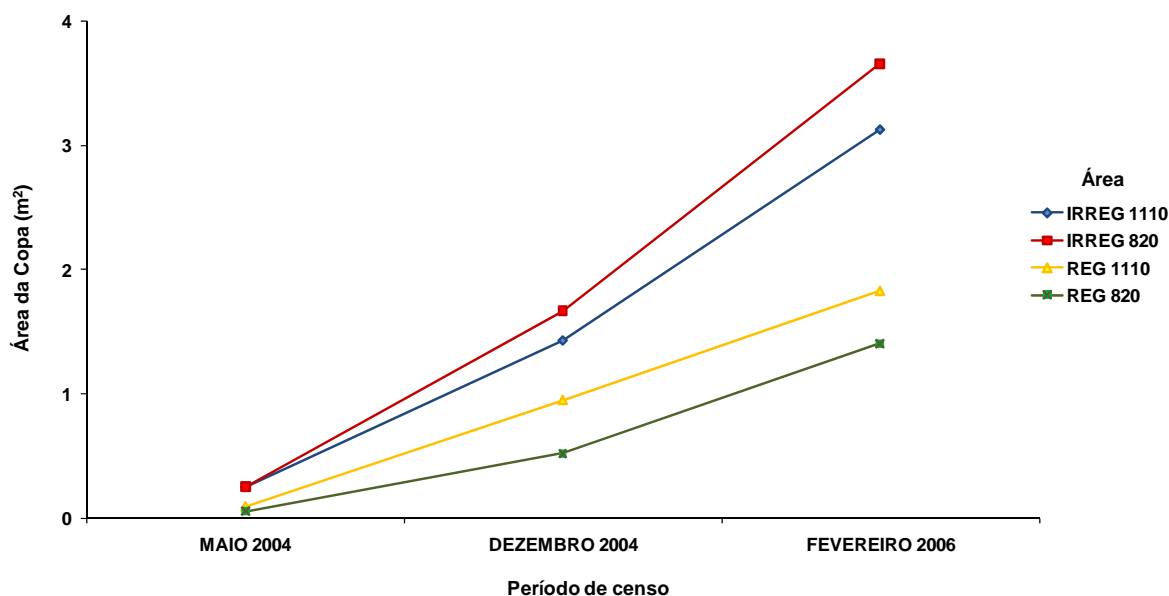


Gráfico 40 – Área média da copa (m^2) dos indivíduos de *Mimosa scabrella* – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

Davide e Faria (1997), no trabalho de revegetação de uma área de empréstimo da usina hidrelétrica de Camargos, MG, observaram após cinco anos, que entre as espécies com

as maiores médias de área da copa, estava a *Mimosa scabrella*, com 42 m². Pereira *et al.* (1999) encontraram médias de incremento em área de copa 7,93 m²; 0,68 m² e 4,48 m² respectivamente sítios 1, 2 e 3, após 28 meses de observações da espécie *Mimosa scabrella*. Ao analisarmos o tempo decorrido desde o plantio até a última coleta de dados, o presente trabalho em Doutor Pedrinho, SC obteve maiores médias que as citadas acima.

7.2.6 Índice médio de cobertura vegetal e altura da cobertura do solo

A análise do índice médio de cobertura do solo pela vegetação espontânea no período de maio de 2004 a dezembro de 2004 demonstra um índice de cobertura maior nas áreas irregulares (Tabela 24). No entanto, nas medidas de fevereiro de 2006, há uma inversão, onde se nota maior cobertura nas áreas regulares (Tabela 24 e Gráfico 41). Nas medidas realizadas em fevereiro de 2006, o maior índice de cobertura nas áreas regulares se deve a várias razões ecológicas, entre elas, o menor desenvolvimento das bracatingas, maior radiação solar, entre outros. Esta constatação se deve ao fato de que nas áreas irregulares as gramíneas e herbáceas já tinham perecido e cumprido com seu papel de pioneiras nesse estágio da recuperação ambiental, enquanto nas áreas regulares elas ainda cobriam o solo conforme mostrado na Foto 26. Nas áreas irregulares inúmeros fatores como menor irradiação solar, menor temperatura do ambiente, melhores condições edáficas, entre outros, resultantes do maior desenvolvimento das bracatingas (Foto 27) provocaram progressivamente a diminuição das condições ecológicas propícias às gramíneas e herbáceas. Os dados da significância estatística corroboram com essa afirmativa comprovando o estágio mais avançado do processo sucessional da vegetação nas áreas irregulares. De outra forma a irregularidade da forma da copa das bracatingas nas áreas irregulares deixava espaços sem cobertura conforme mostra a Foto 27 permitindo maior variabilidade da radiação, da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar ao longo do dia. Estes fatos mostram um aumento da variabilidade dos fatores abióticos no processo sucessional resultante da interação entre os fatores bióticos e abióticos.

Tabela 24 – Variações médias do índice de cobertura (%) do solo das parcelas regulares e irregulares, referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

	ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO								
	Maio 2004			Dezembro 2004			Fevereiro 2006		
	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}	Regular	Irregular	P _{Calc}
Parcela 1110	18,18	25,74	0,15	19,74	59,00	0,0014	91,75	84,38	0,46
Parcela 820	15,19	28,37	0,012	57,56	62,62	0,27	89,00	76,88	0,27
Média	16,68	27,06	0,004	38,65	64,31	0,004	90,38	80,63	0,179

Fonte: O autor (2007).

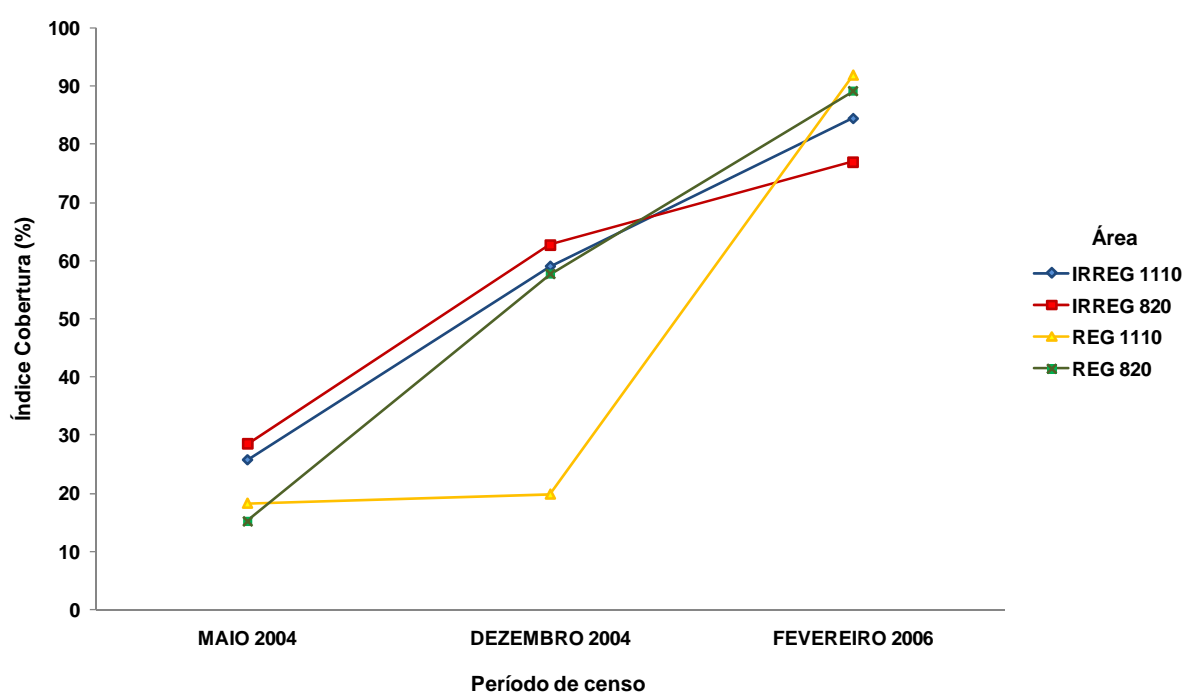


Gráfico 41 – Índice médio de cobertura do solo (%) das parcelas regulares e irregulares – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

Regensburger (2004) verificou na mesma região do presente estudo, após nove meses de observações, 67% de cobertura do solo ao utilizar serapilheira e bracatinga e 58% ao utilizar apenas bracatinga. O maior percentual de cobertura do solo (80%) foi obtido com topografia irregular, adubação química e com serapilheira, sendo que nos demais tratamentos os índices não foram superiores a 70%. Os valores encontrados por essa pesquisadora são aparentemente iguais ao obtido no tratamento irregular do presente estudo (80,63%). Já o estudo de Neppel (2003) obteve percentual de cobertura do solo nos módulos regulares de 70,0%.

Guilherme (2000) analisando o efeito da cobertura do dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria, constatou índices de cobertura que variaram de 57,7 a 77,3% e a ocorrência de indivíduos da regeneração natural aumentou à medida que o índice de cobertura do dossel foi menor. Estes valores são inferiores aos obtidos nesse experimento tanto nas áreas regulares como irregulares com dois anos após o plantio.

Segundo Marquis, Yung e Bracher (citados por GUILHERME, 1986) em florestas não perturbadas os índices de cobertura foram de 91,4%.

Como o objetivo principal da recuperação de áreas degradadas é proteger o solo com vegetação a fim de interromper os processos de degradação (CAMPELLO, 1996; DIAS; GRIFFITH, 1998; REIS; ZAMBONIN; NAKAZONO, 1999), o percentual de cobertura do solo obtido no presente estudo foi elevado, alcançando em apenas um ano e dois meses este objetivo. A cobertura do solo exerce influência no escoamento da água e erosão dos solos. Frando *et al.* (2002) constataram na Zona da Mata em Minas Gerais, em área com topografia fortemente ondulada e precipitação média anual de 1500mm, uma diferença acentuada na perda do solo em função do tipo de cobertura vegetal. Nos sistemas agroflorestais em Latossolos, os autores registraram uma perda média de solo de $0,2173 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e em sistemas de cultivo convencional em pequena propriedade a perda foi de $2,612 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para sistemas agroflorestais com cultivo de café, árvores nativas e frutíferas, com índice de cobertura do solo de 90,8%, a perda do solo foi de $0,0068 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Na presente pesquisa a perda de solo na área regular foi muito superior ($3,54 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e na área irregular foi de $0,87 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esses valores são superiores ao encontrado por Franco *et al.* (2002) pelo fato de serem solos em processo de reconstrução a partir de estéril de mineração e pelo pouco tempo do estabelecimento da vegetação.

Passados quatro meses após o plantio já havia uma tendência de diferenciação na altura da vegetação espontânea (Tabela 25), no entanto, esta não foi estatisticamente significativa.

Tabela 25 – Variações médias da altura (mm) da vegetação espontânea nas áreas regulares e irregulares, referente ao experimento de recuperação de área degradada em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC – maio 2004/dez. 2004/fev. 2006

	ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO								
	Maio 2004			Dezembro 2004			Fevereiro 2006		
	Regular	Irregular	PCalc	Regular	Irregula	PCalc	Regular	Irregular	PCalc
Parcela 1110	4,9	18,20	0,037	10,00	66,20	8,8x10-05	71,20	81,80	0,34
Parcela 820	15,2	17,90	0,58	12,50	66,80	4,9x10-06	77,80	89,10	0,42
Média	4,9	18,05	0,001	11,25	66,5	8,7x10-10	74,50	85,45	0,21

Fonte: O autor (2007).

Nas medidas realizadas em dezembro de 2004, após dez meses do plantio, a altura média da cobertura foi significativamente maior nas áreas irregulares (Tabela 25 e Gráfico 42). Nas medidas realizadas em fevereiro de 2006, ainda havia diferenças, porém estas não eram mais significativas, devido ao fato que nas áreas regulares ainda continuavam vigorando as condições favoráveis àquelas espécies dos primeiros estádios da sucessão secundária (gramíneas e herbáceas pioneiras), enquanto nas irregulares elas tinham sido substituídas em boa parte pelo maior desenvolvimento das bracatingas (Foto 27).

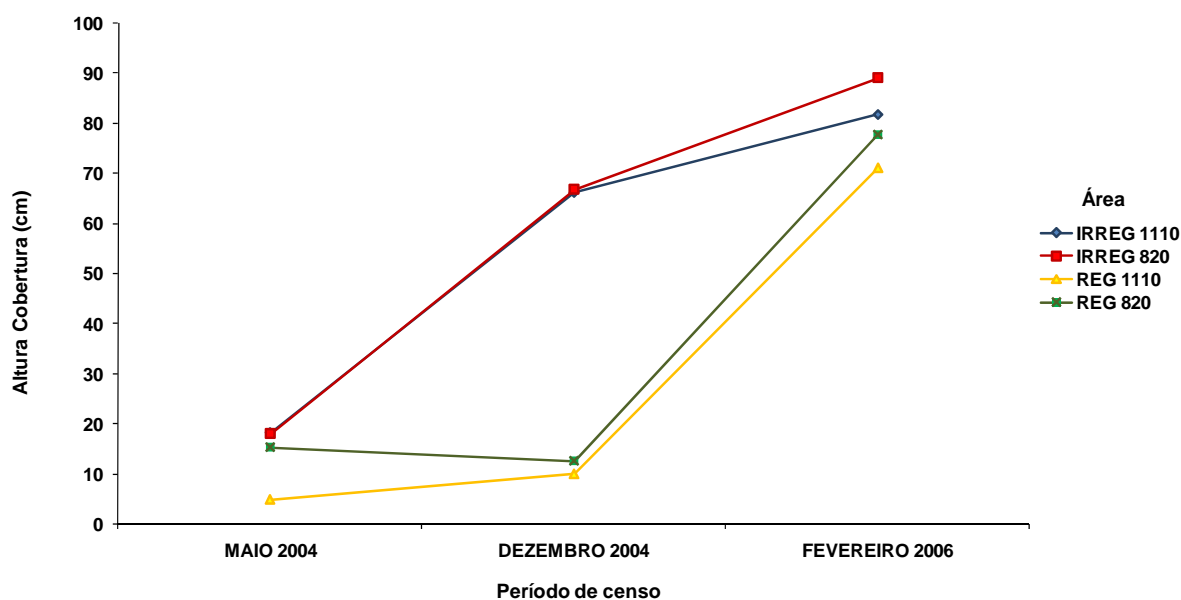


Gráfico 42 – Altura média da vegetação espontânea (mm) das áreas regulares e irregulares – maio 2004/dez. a 2004/fev. 2006

Fonte: O autor (2007).

7.2.7 Caracterização da composição florística

No total foram amostrados 151 táxons entre espécies e morfoespécies, pertencentes a 34 famílias botânicas, das quais foi possível identificar até o nível específico 72, até o nível de gênero 52 e até o nível família 15 (Tabela 26). A dificuldade de identificação se deve a falta de material fértil, pois muitas espécies não floriram no período avaliado, ou eram plântulas ou indivíduos muito jovens.

A riqueza de espécies herbáceo-arbustivas se fez presente cobrindo mais de 80% da superfície do solo. Os tratamentos com solo irregularizado apresentaram 94 espécies e morfoespécies, onde, 48 (51,1%) destas foram comuns com áreas com solo regularizado e irregularizado. O número de espécies exclusivas do tratamento irregularizado foi 46 (48,9%). Já os tratamentos com solo regularizado apresentaram 104 espécies e morfoespécies. O número de espécies exclusivas do tratamento regularizado foi 57 (54,29%).

As famílias com maior número de espécies foram: Asteraceae com 39 espécies; Poaceae com 25 espécies; Cyperaceae com 20 espécies e Solanaceae com 6 espécies. Espontaneamente não houve instalação de Fabaceae, nem Myrtaceae, possivelmente devido às condições do sítio e ao banco de sementes do solo translocado.

O índice de Sorensen resultou em 0,932 e o de Jaccard em 0,872, ou seja, a vegetação que surgiu espontaneamente nas áreas regulares e irregulares são altamente similares (Tabela 27). Deve-se ressaltar que as áreas se encontram muito próximas umas das outras.

A irregularização do terreno constitui-se na construção de cavas profundas o suficiente para reter água e sedimentos. A maior parte das cavas no primeiro ano de observação esteve com água em seu interior, formando micro-lagos rasos. À medida que a erosão transportava partículas para dentro dos mesmos, a quantidade de sedimentos no interior das covas aumentava paulatinamente, formando um novo ecossistema. Nesses micro-lagos se iniciou intensa colonização de Cyperaceae e Juncaceae, servindo de local de reprodução de anfíbios. Devido à formação desses micro-lagos foi possibilitada a ocorrência no interior destas parcelas de espécies de Juncaceae: *Juncus* cf. *capillaceus* Lam., *Juncus* cf. *effusus* L., *Juncus* cf. *microcephalus* Kunth e *Juncus* sp. exclusivas destes ambientes. Das espécies exclusivas que colonizaram as cavas sempre com água destacam-se: *Rhynchospora aurea*, *Cyperus* cf. *polystachyos*, *Cyperus* cf. *prolixus* e ocorrência em maior número de *Scleria* sp. Nas áreas com tratamento regularizado, encontrou-se somente um indivíduo de *Scleria* sp.

Devido à intensa erosão do entorno e sedimentação interna no início do experimento algumas cavas muito rasas somente continham água após períodos de chuva. Já nas cavas que retiram água por um período maior, observou-se a colonização e predominância por espécies da família Poaceae entremeadas por algumas espécies de Cyperaceae (Foto 31).

Ressalte-se um pequeno número de espécies arbóreas que se instalaram na área em recuperação, com exceção a *Mimosa scabrella* que foi plantada, as demais espontâneas foram: *Alchornea triplinervia*, *Solanum sanctaecatharinae*, *Vernonia discolor*, *Melia azedarach* (exótica).

Nappo *et al.* (2005) em estudos da dinâmica da estrutura diamétrica da regeneração natural de espécies arbóreas e arbustivas no sub-bosque de povoamento de *Mimosa scabrella* Bentham, em área minerada de Poços de Caldas (MG), constataram após 18 anos, o declínio e morte do povoamento e um aumento progressivo das espécies pioneiras e secundárias. Estas últimas foram as de maior dominância nas maiores classes de altura e diâmetro, favorecendo o estabelecimento das espécies climáticas, o que evidencia um estágio mais avançado da sucessão ecológica que na presente pesquisa, que está apenas no terceiro ano de observação.

Apesar da distribuição de serapilheira, esta parece não ter sido determinante nos três primeiros anos do experimento para estimular a colonização da área por espécies arbóreas.

Tabela 26 – Espécies vegetais amostradas na área de recuperação em mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho, SC⁶

Continua						
Nº	FAMÍLIA	ESPÉCIE OU MORFOESPÉCIE	REGULAR	IRREGULAR	TIPO DE DISPERSÃO	GRUPO ECOLÓGICO
1	Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i> cf. <i>lividus</i> L.		X	Au	PI
2	Apiaceae	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.		X	An	PI
3	Asteraceae	<i>Achyrocline satuireioides</i> (Lam.) DC.		X	An	PI
4		<i>Acmella</i> cf. <i>brachyglossa</i> Cass.		X	An	PI
5		<i>Ageratum</i> cf. <i>conyzoides</i> L.		X	An	PI
6		<i>Baccharis</i> cf. <i>anomala</i> DC.		X	An	PI
7		<i>Baccharis</i> cf. <i>brachylaenoides</i> DC.		X	An	PI
8		<i>Baccharis</i> cf. <i>dracunculifolia</i> DC.		X	An	PI
9		<i>Baccharis</i> cf. <i>semiserrata</i> DC.	X	X	An	PI
10		<i>Baccharis</i> cf. <i>uncinella</i> DC.		X	An	PI
11		<i>Baccharis</i> sp. 1	X	X	An	PI
12		<i>Baccharis</i> sp. 2		X	An	PI
13		<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	X	X	An	PI
14		<i>Blainvillea</i> cf. <i>latifolia</i> (L.f.) DC.	X		An	PI
15		Cf. <i>Jaegeria</i> Kunth	X		An	PI
16		Cf. <i>Symphopappus</i> Turcz.	X	X	An	PI

⁶ Tipos de dispersão podem ser Anemocórica (An); Autocórica (Au) e Zoocórica (Zo); e os Grupos ecológicos podem ser Pioneira (PI) e ou Secundária Inicial (SI).

Continuação

Nº	FAMÍLIA	ESPÉCIE OU MORFOESPÉCIE	REGULAR	IRREGU- LAR	TIPO DE DISPERSÃO	GRUPO ECOLÓGICO
17		<i>Conyza</i> cf. <i>canadensis</i> (L.) Cronquist	X		An	PI
18		<i>Emilia</i> Cass.	X		An	PI
19		<i>Erechtites</i> <i>valerianifolia</i> (Wolf) DC.	X	X	An	PI
20		<i>Erechtites</i> cf. <i>hieraciifolius</i> (L.) DC.	X	X	An	PI
21		<i>Erechtites</i> sp. 2	X		An	PI
22		<i>Eupatorium</i> cf. <i>biniifolium</i>	X		An	PI
23		<i>Eupatorium</i> cf. <i>laegivatatum</i> Lam.	X	X	An	PI
24		<i>Eupatorium</i> <i>serrulatum</i> DC.	X	X	An	PI
25		<i>Eupatorium</i> sp. 1	X	X	An	PI
26		<i>Eupatorium</i> sp. 2	X		An	PI
27		<i>Eupatorium</i> sp. 3	X	X	An	PI
28		<i>Eupatorium</i> sp. 4	X		An	PI
29		<i>Eupatorium</i> sp. 5		X	An	PI
30		<i>Eupatorium</i> sp. 6	X	X	An	PI
31		<i>Galinsoga</i> sp. Ruiz & Pav.	X		An	PI
32		<i>Gnaphalium</i> cf. <i>purpureum</i> L.	X		An	PI
33		<i>Mikania</i> Willd.	X		An	PI
34		<i>Parthenium</i> cf. <i>hysterophorus</i> L.	X		An	PI
35		<i>Piptocarpha</i> cf. <i>tomentosa</i> Baker	X		An	PI
36		<i>Senecio</i> cf. <i>brasiliensis</i> (Spreng.) Less.	X		An	PI
37		<i>Sonchus</i> L.		X	An	PI
38		Asteraceae espécie 1	X	X	An	PI
39		Asteraceae espécie 2	X	X	An	PI
40		<i>Symphyopappus</i> <i>itaiyensis</i> (Hieron.) R.M. King & H.Rob.	X	X	An	PI
41		<i>Symphyopappus</i> <i>lymansmithii</i> B.L. Rob.		X	An	PI
42		<i>Vernonia</i> cf. <i>nudiflora</i> Less.		X	An	PI
43		<i>Vernonia</i> <i>discolor</i> (Spreng.) Less.		X	An	PI
44		<i>Vernonia</i> sp. 1	X	X	An	PI
45	Bignoniaceae	Bignoniaceae espécie 1		X	An	PI
46		Bignoniaceae espécie 2	X	X	An	PI
47	Blechnaceae	<i>Blechnum</i> cf. <i>brasiliense</i> Desv.		X	An	PI
48	Boraginaceae	<i>Heliotropium</i> sp.		X	Zo	PI
49	Brassicaceae	<i>Brassica</i> cf. <i>rapa</i> L.		X	Au	PI
50	Commelinaceae	<i>Commelina</i> sp.		X		PI
51	Cyperaceae	Cyperaceae espécie 1	X		An/Zo	PI
52		Cyperaceae espécie 2	X		An/Zo	PI
53		<i>Carex</i> cf. <i>brasiliensis</i> A. St.-Hil.	X	X	An/Zo	PI
54		<i>Cyperus</i> cf. <i>brevifolius</i> (Rottb.) Hassk.	X		An/Zo	PI
55		<i>Cyperus</i> cf. <i>distans</i> L.f.	X	X	An/Zo	PI
56		<i>Cyperus</i> cf. <i>hermaphroditus</i> (Jacq.) Standl.	X	X	An/Zo	PI
57		<i>Cyperus</i> cf. <i>lanceolatus</i> Poir.	X		An/Zo	PI
58		<i>Cyperus</i> cf. <i>luzulae</i> (L.) Retz.	X	X	An/Zo	PI
59		<i>Cyperus</i> cf. <i>meyenianus</i> Kunth	X	X	An/Zo	PI
60		<i>Cyperus</i> cf. <i>polystachyos</i> Rottb.		X	An/Zo	PI
61		<i>Cyperus</i> cf. <i>prolixus</i> H.B.K.		X	An/Zo	PI
62		<i>Cyperus</i> sp. 1	X	X	An/Zo	PI
63		<i>Cyperus</i> sp. 2	X		An/Zo	PI
64		<i>Eleocharis</i> <i>geniculata</i> (L.) R. Br.	X	X	An/Zo	PI

Continuação

Nº	FAMÍLIA	ESPÉCIE OU MORFOESPÉCIE	REGULAR	IRREGU- LAR	TIPO DE DISPERSÃO	GRUPO ECOLÓGICO
65		<i>Eleocharis</i> sp. 1	X	X	An/Zo	PI
66		<i>Fimbristylis</i> sp.	X	X	An/Zo	PI
67		<i>Pleurostachys</i> sp.	X		An/Zo	PI
68		<i>Rhynchospora</i> cf. <i>aurea</i> Vahl.		X	An/Zo	PI
69		<i>Rhynchospora corymbosa</i> (L.) Britten	X		An/Zo	PI
70		<i>Rhynchospora</i> sp. 2	X	X	An/Zo	PI
71		<i>Scleria</i> sp.	X	X	An/Zo	PI
72	Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Mul. Arg.	X	X	Zo	PI/SI
73		<i>Euphorbia hirta</i> L.	X	X	Au	PI
74	Fabaceae	<i>Mimosa scabrella</i> Benth*			Au	PI
75	Gesneriaceae	<i>Sinningia douglasii</i> (Lindl.) Chautems	X	X	An	PI
76	Hymenophyllaceae	cf. <i>Trichomanes</i> sp.	X		An	PI
77	Iridaceae	<i>Sisyrinchium</i> cf. <i>vaginatum</i> Spreng.	X	X	An	PI
78	Juncaceae	<i>Juncus</i> cf. <i>capillaceus</i> Lam.		X	An	PI
79		<i>Juncus</i> cf. <i>effesus</i> L.		X	An	PI
80		<i>Juncus</i> cf. <i>microcephalus</i> Kunth		X	An	PI
81		<i>Juncus</i> sp.		X	An	PI
82	Lamiaceae	<i>Hyptis</i> sp.	X	X		PI
83	Lycopodiaceae	<i>Lycopodium</i> sp.		X	An	PI
84	Lythraceae	<i>Cuphea</i> sp.	X	X		PI
85		<i>Heimia</i> cf. <i>myrtifolia</i> Cham. & Schltdl.	X	X		PI
86	Malvaceae	<i>Sida</i> sp.		X	Au	PI
87	Melastomataceae	cf. <i>Leandra</i> sp.	X	X	Zo	PI
88		<i>Tibouchina</i> sp.	X	X	An	PI
89	Meliaceae	<i>Melia</i> cf. <i>azedarach</i> L.		X	Zo	PI
90	Passifloraceae	<i>Passiflora</i> cf. <i>foetida</i> L.		X	Zo	PI
91	Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus</i> cf. <i>tenelus</i> Roxb.		X	Au	PI
92	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i> sp.		X	Zo	PI
93		<i>Phytolacca</i> cf. <i>thyrsiflora</i>		X	Zo	PI
94	Plantaginaceae	<i>Bacopa</i> sp.		X	Zo	PI
95		cf. <i>Mecardonia</i> sp.		X	Zo	PI
96		<i>Scoparia</i> cf. <i>dulcis</i> L.		X	Zo	PI
97		<i>Stemodia</i> sp.		X	Zo	PI
98		<i>Stemodia verticillata</i> (Mill.) Kuntze	X	X	Zo	PI
99	Poaceae	<i>Andropogon</i> cf. <i>leucostachyus</i> H.B.K.	X		Zo	PI
100		<i>Axonopus</i> cf. <i>compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	X		Zo	PI
101		<i>Axonopus</i> cf. <i>sulffultus</i> (Mikan ex Trin.) Parodi	X		Zo	PI
102		cf. <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.	X		Zo	PI
103		cf. <i>Imperata</i> sp.	X		Zo	PI
104		<i>Echinochloa</i> cf. <i>colonum</i> (L.) Link.	X		Zo	PI
105		<i>Eragrostis</i> cf. <i>megapotamica</i> (Spreng.) Schult.	X		Zo	PI
106		Poaceae espécie 1	X	X	Zo	PI
107		Poaceae espécie 2	X	X	Zo	PI
108		Poaceae espécie 3	X	X	Zo	PI
109		Poaceae espécie 4	X	X	Zo	PI
110		Poaceae espécie 5		X	Zo	PI
111		Poaceae espécie 6	X	X	Zo	PI
112		Poaceae espécie 7	X	X	Zo	PI
113		Poaceae espécie 8	X	X	Zo	PI

						Conclusão
Nº	FAMÍLIA	ESPÉCIE OU MORFOESPÉCIE	REGULAR	IRREGU- LAR	TIPO DE DISPERSÃO	GRUPO ECOLÓGICO
114		Poaceae espécie 9	X	X	Zo	PI
115		<i>Oplismenus</i> sp.	X		Zo	PI
116		<i>Panicum</i> cf. <i>maximum</i> Jacq.	X		Zo	PI
117		<i>Panicum</i> cf. <i>pilosum</i> Sw.	X		Zo	PI
118		<i>Paspalum</i> cf. <i>brunneum</i> Mez.	X		Zo	PI
119		<i>Paspalum</i> cf. <i>paniculatum</i> L.	X		Zo	PI
120		<i>Paspalum</i> sp.	X		Zo	PI
121		<i>Paspalum</i> sp. 2	X		Zo	PI
122		cf. <i>Schizachyrium</i> sp.	X	X	Zo	PI
123		<i>Setaria</i> cf. <i>geniculata</i> (Lam.) Beauv.	X		Zo	PI
124	Polygonaceae	<i>Polygonum</i> sp.	X		Zo	PI
125	Rosaceae	<i>Rubus</i> sp.	X		Zo	PI
126	Rubiaceae	<i>Coccocypselum</i> cf. <i>condalia</i> Pers.	X		Zo	PI
127		<i>Coccocypselum</i> <i>reitzii</i> L.B. Sm. & Downs	X		Zo	PI
128		<i>Diodia</i> sp.	X		Zo	PI
129	Sapindaceae	<i>Paullinia</i> sp.	X		Zo	PI
130	Solanaceae	<i>Solanum</i> <i>lacerdae</i> Dusén	X		Zo	PI
131		<i>Solanum</i> <i>sanctaecatharinae</i> Dunal	X		Zo	PI
132		<i>Solanum</i> sp. 1	X		Zo	PI
133		<i>Solanum</i> sp. 2	X		Zo	PI
134		<i>Solanum</i> <i>variabile</i> Mart.	X	X	Zo	PI
135		<i>Solanum</i> <i>viarum</i> Dunal	X		Zo	PI
136	Thelypteridaceae	cf. <i>Thelypteris</i> sp. 1	X		An	PI
137		cf. <i>Thelypteris</i> sp. 2	X		An	PI
138	Verbenaceae	cf. <i>Verbena</i> sp.	X		Zo	PI
139	família desconhecida	Pteridophyta 1		X	An	PI
140	família desconhecida	Pteridophyta 2		X	An	PI
141	família desconhecida	espécie 1		X		
142	família desconhecida	espécie 2	X			
143	família desconhecida	espécie 3	X			
144	família desconhecida	espécie 4	X			
145	família desconhecida	espécie 5	X			
146	família desconhecida	espécie 6	X	X		
147	família desconhecida	espécie 7		X		
148	família desconhecida	espécie 8	X			
149	família desconhecida	espécie 9		X		
150	família desconhecida	espécie 10	X			
151	Polytrichaceae	cf. <i>Polytrichum</i> sp.		X	An	PI

Fonte: O autor (2007).

A elevada riqueza florística registrada (151 táxons entre espécies e morfoespécies) no presente trabalho, bem como a rapidez de colonização evidenciam o *pool* gênico existente na área de entorno, além da eficiência e eficácia dos mecanismos de dispersão e a capacidade de instalação das espécies em curto espaço de tempo, ou seja, em 14 meses, em Campo Formoso, Dr. Pedrinho, SC. O destaque das famílias Asteraceae, Poaceae e Cyperaceae se

deve em grande parte às estratégias de dispersão e capacidade de instalação que estes grupos de planta possuem. Regensburguer (2004) em área próxima após nove meses constatou o estabelecimento espontâneo de 22 famílias com predominância das Asteráceas (35,7%) seguido das Ciperaceae e Poaceae com 10,7%. Em menores proporção registrou as Euphorbiaceae, Rubiaceae, Solanaceae (7,1%), as Commelinaceae, Myrsinaceae, Phytolaccaceae e Polygonaceae, Solanaceae, Apiaceae e Lamiaceae com 3,6%.

No levantamento florístico em áreas mineradas a céu aberto na região carbonífera de Santa Catarina, Citadini-Zanette e Boff (1992) encontraram 97 espécies pertencentes à 31 famílias botânicas, sendo as famílias Asteraceae e Poaceae as mais bem representadas, com 22 espécies cada. Segundo os mesmos autores, as gramíneas em geral, pelo seu sistema radicular, são importantes na fixação do solo e controle da erosão.

Gonçalves-Alvim *et al.* (2002) ao compararem áreas de canga⁷ com áreas abandonadas pela mineração no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais, registraram 110 espécies e 25 famílias, tendo as Asteraceae o maior número de espécies. A maior riqueza e diversidade de espécies vegetais foi observada nas áreas adjacentes às cavas, sugerindo que apenas um reduzido número de espécies de plantas é capaz de ocupar áreas degradadas, apesar da proximidade das fontes colonizadores. Cabe realçar que as condições edáficas dessa região são mais adversas que a região da presente pesquisa.

Nappo *et al.* (2004) em recuperação de área degradada pela mineração de bauxita em Poços de Caldas, numa área de 6,44 ha, situada a 1.500 metros de altitude, após 18 anos do cultivo de gramíneas, leguminosa e *Mimosa scabrella* Bentham, identificaram 1.496 indivíduos com altura igual ou superior a 0,3 m, pertencentes a 26 famílias, 47 gêneros e 63 espécies, sendo 23 pioneiras, 21 secundárias e 19 clímax. No segundo levantamento, após 19 anos foram identificados 2.889 indivíduos pertencentes a 30 famílias, 58 gêneros e 77 espécies, sendo 28 pioneiras, 29 secundárias e 20 clímax. A heterogeneidade ambiental, propiciada pelas variáveis edáficas, refletiu-se no comportamento florístico-estrutural da regeneração natural do sub-bosque com o declínio da *Mimosa scabrella*, em área do povoamento puro, permitindo uma diversificação das condições do sítio, privilegiando outras espécies pioneiras. Diferentemente da heterogeneidade dos grupos ecológicos encontrados por esses autores, no presente trabalho registrou-se, com excessão da *Alchornea triplinervia* que pode ser tanto pioneira como secundária inicial, somente espécies pioneiras.

⁷ Crosta ferruginosa formada por rocha limonitizada misturada com argila e areia.

Com relação as síndromes de dispersão das espécies do levantamento florístico do presente estudo, destacaram-se a Anemocórica com 45%, sendo as famílias Asteraceae e Juncaceae as que mais contribuíram para este índice, e a Zoocórica, com 36% das espécies, com contribuição das famílias Poaceae e Solanaceae. No trabalho de Nappo *et al.* (2004), observou-se uma inversão quanto as síndromes de dispersão, predominando a Zoocórica com 72% das espécies estudadas, seguido da anemocórica com 27%. Vale ressaltar que cerca de 75% das espécies com síndrome de dispersão zoocórica pertencem aos grupos ecológicos secundárias (iniciais e tardias) e clímax.

Apesar do levantamento florístico ser qualitativo, se observou uma colonização predominantemente por espécies de hábito herbáceo-arbustivo da família Asteraceae (Compositae) entre elas os gêneros *Baccharis* spp., *Senecio* spp., *Eupatorium* spp. e *Vernonia* spp., conforme citado por Reis *et al.* (1999).

A ocorrência de certo número de espécies exclusivas para cada tratamento se deu, provavelmente, pelas suas características ecológicas e pelas condições de cada sítio. Dentre as espécies cuja ocorrência se deu exclusivamente nas parcelas irregularizadas: *Scoparia* cf. *dulcis*, *Commelina* sp., *Cyperus* cf. *polystachyos*, *Cyperus* cf. *prolixus*, *Rhynchospora* cf. *aurea*, *Juncus* cf. *capillaceus*, *Juncus* cf. *effusus*, *Juncus* cf. *microcephalus*, *Juncus* sp., *Centella asiatica*, *Achyrocline satureioides*, *Acmella* cf. *brachyglossa*, *Ageratum* cf. *conyzoides*, *Brassica* cf. *rapa*, *Solanum variabile*, entre outras amostradas em Doutor Pedrinho, são caracterizadas por Citadini-Zanette e Boff (1992) e por Kissmann e Groth (1997) como plantas que preferem desde lugares úmidos até solos ligeiramente úmidos.

Por outro lado, a grande maioria das espécies que ocorreram exclusivamente nas parcelas regularizadas no presente estudo, consideradas por Kissmann e Groth (1997), como melhores adaptadas a solos úmidos e ricos em matéria orgânica, destacam-se: *Eupatorium* cf. *biniifolium*, *Blainvillea* cf. *latifolia*, *Emilia* sp., *Gnaphalium* cf. *purpureum*, *Cyperus* cf. *lanceolatus*, *Cyperus* cf. *brevifolius*, *Andropogon* cf. *leucostachyus*, cf. *Imperata* sp., *Panicum* cf. *maximum*, *Paspalum* cf. *paniculatum*, entre outras. Tal fenômeno pode estar relacionado à galharia e raízes que vieram junto com a serapilheira que foi espalhada por sobre as parcelas e que mesmo após espalhadas, restaram concentrações deste material, formando local propício à retenção de umidade e sedimentos, favorecendo à colonização dessas espécies. De acordo com Reis *et al.* (2003) as leiras de galharia além de incorporar matéria orgânica no solo e ter potencial de rebrotação e germinação, podem apresentar microclima adequado e servem de abrigo para diversos organismos. Cabe ressaltar que, com exceção da umidade do solo nas rugosidades das áreas irregulares, a umidade do solo foi maior nas áreas regulares podendo ter

contribuído para estabelecimento dessas espécies adaptadas a solos úmidos.

A adição de serapilheira nas parcelas pouco influenciou na introdução de espécies arbóreas na área de estudo. Souza *et al.* (2006) em estudos para avaliação de serapilheira para recuperação ambiental, realizados em fragmento de floresta estacional semidecidual de Viçosa (MG), registraram o estabelecimento de 76,91% de espécies herbáceas representadas por 98 espécies reunidas em 35 famílias e 23,09% de arbóreas representadas por 24 espécies reunidas em 17 famílias. Os autores concluíram que a serapilheira tem potencial para recuperação ambiental, dependendo das condições climáticas, edáficas, e do manejo adequado.

O manejo do solo na presente pesquisa foi decisivo para que 92% da superfície do solo fosse coberta por herbáceas e arbustivas e foi fundamental para o processo de colonização, instalação, cobertura e densidade da cobertura do solo, bem como para a sobrevivência das espécies que se instalaram espontaneamente, como também para a *Mimosa scabrella*, e para os organismos detritívoros (milípedes, minhocas, pulgões e outros invertebrados), além de fungos e bactérias que atuam na decomposição da matéria orgânica. A carência de nutrientes parece não ter sido limitante para a instalação e desenvolvimento das espécies herbáceas e arbustivas, nessa área em recuperação, pelo menos no período sob análise.

O Índice de Sorensen e de Jaccard revelaram que há alta similaridade entre a vegetação espontânea das parcelas regulares e irregulares deste estudo. O grande número de espécies exclusivas pode estar relacionado com a diversidade florística da matriz do entorno, com a eficiência e eficácia do processo de dispersão e instalação, bem como com as condições favoráveis ao seu estabelecimento nas parcelas submetidas a diferentes modos de tratamento do solo.

A aleatoriedade do processo de colonização de áreas desnudas pode ser evidenciada neste estudo, onde, nas parcelas de solo regularizado foram registradas 57 espécies exclusivas enquanto que nas parcelas com solo irregularizado registraram-se 46 espécies exclusivas, sendo que a distância entre elas é de aproximadamente 4 metros. Deve-se ressaltar, no entanto, que a irregularização do terreno, apesar de condicionar a ocorrência de espécies com alguma preferência quanto à umidade, aparentemente favoreceu algumas espécies, mas desfavoreceu outras.

Observou-se que muitas das cavas foram parcialmente colmatadas devido ao processo de erosão do entorno dessa e sedimentação na rugosidade, possibilitando a instalação da vegetação em grande densidade pertencente às famílias Juncaceae e Cyperaceae (Fotos 31

e 32). Muitos dos indivíduos de Cyperaceae, próximos das cavas, completaram seu ciclo de vida ou estão em fase final de frutificação. A maior parte das ervas haviam florescido e frutificado durante os primeiros 14 meses do estudo.

As espécies exclusivas em cada tratamento podem estar relacionados com os fatores microclimáticos e a umidade do solo.



Foto 36 – Área irregularizada 1110 m², mostrando o enchimento das cavas com águas pluviais e seu escoamento superficial, em Doutor Pedrinho, SC – 21 jul. 2004

Fonte: O autor (2007).

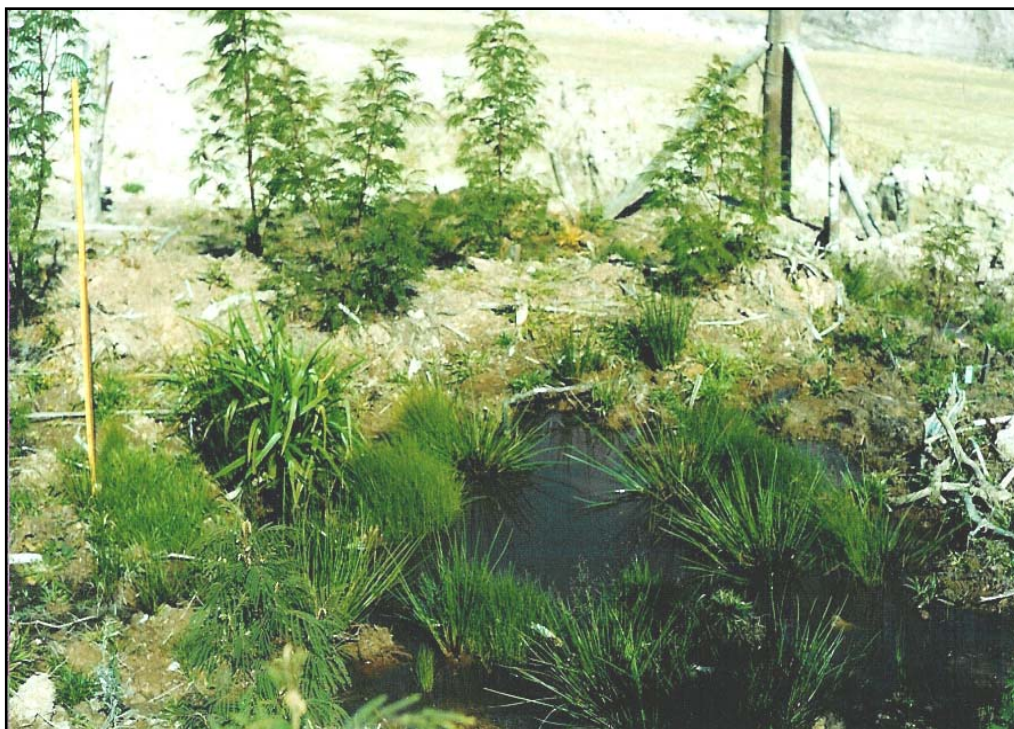


Foto 37 – Área irregularizada 1110 m² mostrando a colonização das cavas por juncáceas e ciperáceas, em Doutor Pedrinho, SC – 1º jul. 2004

Fonte: Aumond (2004).

A abertura das cavas no processo de irregularização das parcelas, permitiu o armazenamento de água nas concavidades, formando assim micro-lagos rasos, nos quais iniciou-se intensa colonização de Cyperaceae e Juncaceae. As depressões do terreno, por reterem umidade, matéria orgânica e sementes funcionaram como “postos avançados” em biodiversidade auxiliando na recuperação confirmando observações de Vivan (1998). As rugosidades das áreas irregulares formaram micro-lagos que tiveram efeito nucleador da vegetação além de servirem de micro-habitats para fauna, à semelhança da nucleação resultante da transposição de galharia descrito por Reis *et al.* (2003). No entanto, essas depressões são mais eficientes como agentes nucleadores por concentrarem toda sorte de material erodido do entorno, tais como solo, sementes, nutrientes e água. De acordo com Yarranton e Morrison (1974), nucleação é a capacidade de uma espécie propiciar a ocupação do ambiente por outras espécies. A partir desses lagos houve um efeito multiplicador de capacidade de uma espécie desencadear melhora nas condições ambientais estimulando a diversidade vegetal atraindo a fauna e irradiando a diversidade. A formação desses micro-lagos possibilitou a ocorrência no interior das parcelas irregulares de espécies de Juncaceae: *Juncus cf. capillaceus* Lam., *Juncus cf. effusus* L., *Juncus cf. microcephalus* Kunth e *Juncus* sp. L., *Rhynchospora aurea*, *Cyperus cf. polystachyos*, *Cyperus cf. prolixus* exclusivas destes

ambientes. Estas espécies podem ter sido melhores competidoras nessa condição, dominando e permanecendo naquele ambiente impedindo a instalação de outras espécies numa primeira fase (Foto 32). Logo a seguir à colmatação dos micro-lagos com a deposição de matéria orgânica, solos e sementes, estes se transformaram em ilhas de diversidade. Outro fator decisivo foi o rápido desenvolvimento de *Mimosa scabrella*, que provocou sombreamento do solo que inibiu o estabelecimento de muitas espécies herbáceas. Na parcela regularizada de 1.110 m², a cobertura do solo foi basicamente composta por Asteraceae e Poaceae.

7.2.8 Fauna

Os dados apresentados a seguir foram obtidos por Leandro (2006) durante a elaboração de seu Trabalho de Conclusão de Curso sob a orientação do autor dessa pesquisa, no Curso de Graduação de Ciências Biológicas da Universidade Regional de Blumenau.

Nas Tabelas 27, 28, 29 e 30 e Gráficos 43, 44 e 45 são apresentados os resultados da pesquisa para a avaliação da fauna de invertebrados realizada de julho de 2005 a junho de 2006. Neste período foram coletados nas armadilhas (Fotos 36 e 37) e triados (Foto 38) um total de 8715 indivíduos pertencentes a 12 ordens, 2 pertencentes à Classe Arachnida e 10 pertencentes à Classe Hexapoda. O número total de indivíduos coletados em cada área está registrado na Tabela 30. As ordens com maior abundância foram Diptera (n = 3004), Collembola (n = 1766), Coleoptera (n = 1121), Thysanoptera (n = 1114) e Hemiptera (n = 819).

Tabela 27 – Número de indivíduos por ordem coletadas em cada parcela

		NÚMERO DE INDIVÍDUOS EM CADA ÁREA			
		Regular 820	Regular 1110	Irregular 820	Irregular 1110
Classe Hexapoda	Diptera	703	891	483	927
	Colembola	98	368	398	902
	Coleoptera	117	277	370	357
	Thysanoptera	515	486	36	77
	Hemiptera	174	269	149	227
	Hymenoptera	117	205	178	208
	Lepidoptera	6	10	2	4
	Neuroptera	0	2	1	1
	Blattodea	0	0	1	0
	Psocoptera	0	1	0	0
Classe Arachnida	Araneae	23	34	19	28
	Acari	15	8	14	14
Total	12	1768	2551	1651	2745

Fonte: Leandro (2006).

A partir da análise da Tabela do número de espécimes por ordem (Tabela 27) constata-se que entre as áreas de 820 m², a parcela irregular apresentou maior diversidade ($t = -3,5337$ e $p = 0,0004$). A parcela regular obteve maior dominância ($p = 0$). Os índices de riqueza ($p = 0,512$) que definem o número de ordens em cada parcela e a equidade ($p = 0,546$), que indica como os indivíduos estão distribuídos entre as ordens, não apresentaram diferenças significativas entre as parcelas com 820 m² (Tabela 28).

Tabela 28 – Índices relativo à fauna de invertebrados nas áreas regulares e irregulares de 820m² – jul. 2005 a jun. 2006

	REGULAR 820	IRREGULAR 820	PERM. P*
Riqueza de ordens	9	11	0,512
Nº indivíduos	1768	1651	-
Domin. D	0,2647	0,2144	0
Shannon H	1,59	1,687	0
Equidade J	0,7237	0,7037	0,546

Fonte: Leandro (2006).

*P = probabilidade de serem iguais

Da análise do Gráfico 43 que expressa a rarefação, se confirma a diferença entre as duas parcelas de 820 m², evidenciando que ao aumentar o número de amostragem aumenta a riqueza na área irregular. A diferença crescente da riqueza na área irregular (820 m²) quando

comparada com a regular (820 m²) sugere que nessa se chegou a um patamar de ordens mais cedo com menor esforço de coleta estabilizando-se mais rapidamente.

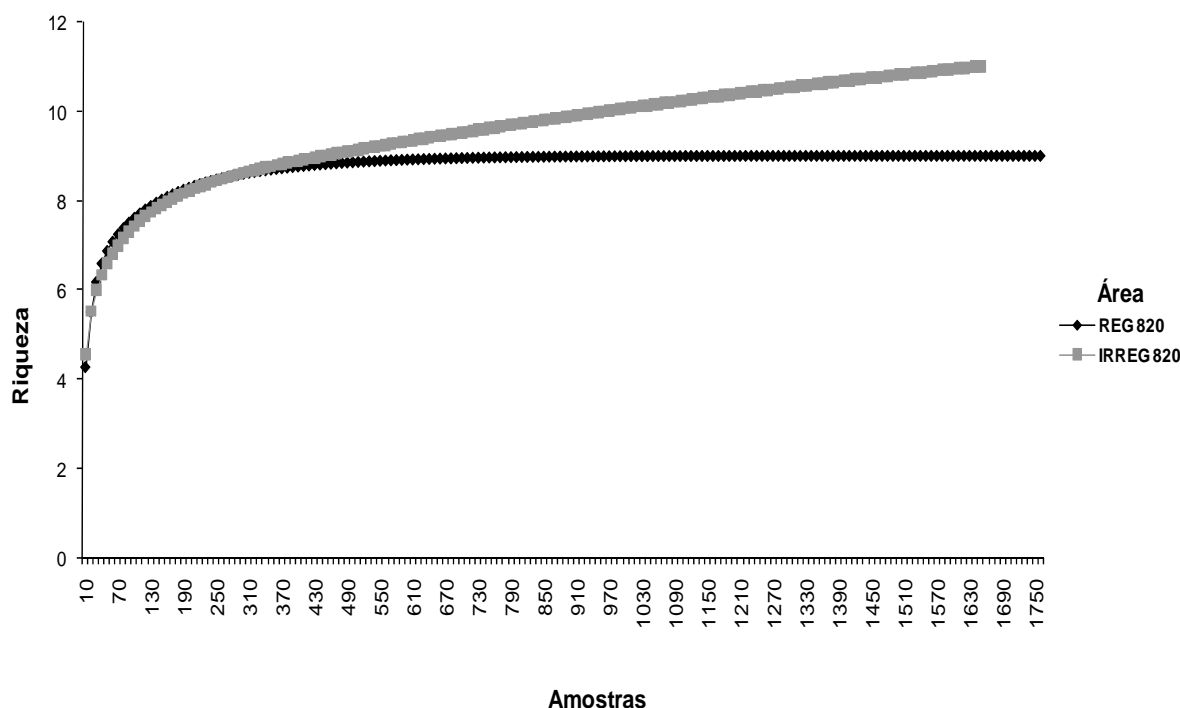


Gráfico 43 – Rarefação entre as áreas de 820 m² regular e irregular

Fonte: Leandro (2006).

Quando se comparam, entre si, as parcelas regulares e irregulares de 1110 m² (Tabela 29), se observa que a parcela irregular teve maior dominância ($p = 0$), no entanto, a diversidade foi maior na parcela regular ($t = 7,8277$ e $p < 0,0001$). Não houve diferença significativa entre as áreas no índice de riqueza ($p = 0,883$) e equidade ($p = 0,168$).

Tabela 29 – Índices relativos à fauna de invertebrados nas áreas regulares e irregulares de 1110 m² – jul. 2005 a jun. 2006

	REGULAR 1110	IRREGULAR 1110	PERM. P*
Riqueza de ordens	11	10	0,883
Nº indivíduos	2551	2745	-
Domin. D	0,2087	0,2524	0
Shannon H	1,75	1,586	0
Equidade J	0,7296	0,6886	0,168

Fonte: Leandro (2006).

*P = probabilidade de serem iguais

O teste de rarefação evidencia que as parcelas regulares e irregulares com 1110 m² são semelhantes entre si (Gráfico 44).

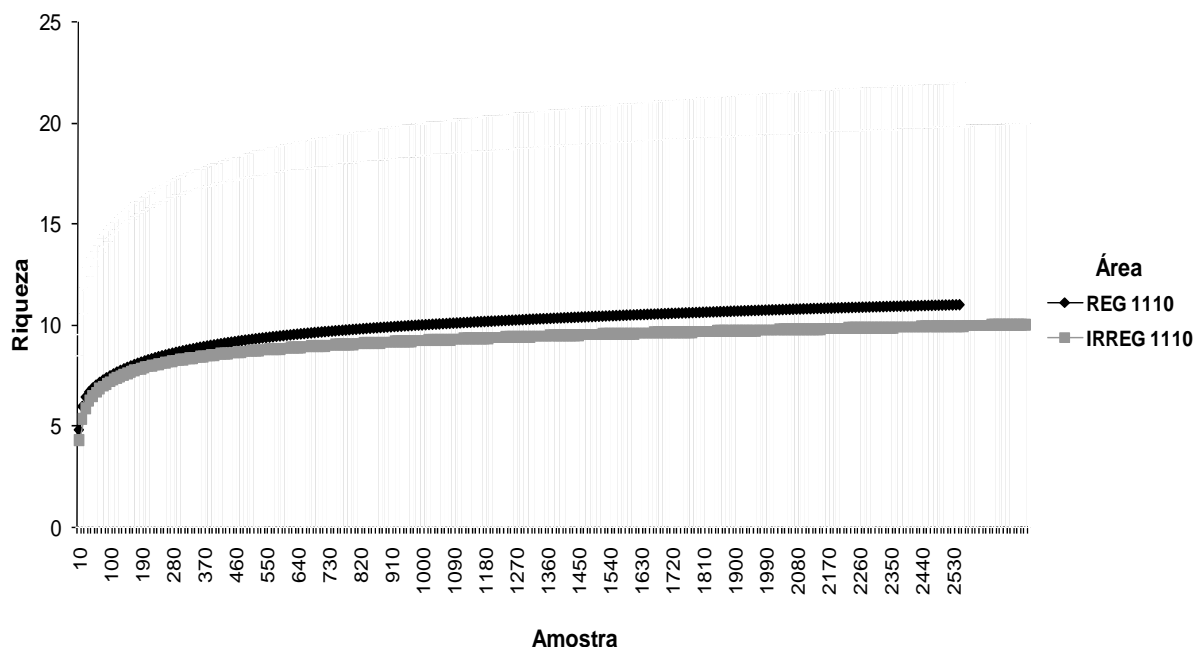


Gráfico 44 – Rarefação entre as parcelas regular 1110 m² e irregular 1110 m²

Fonte: Leandro (2006).

Da análise comparativa entre as parcelas regulares (820 m² + 1110 m²) e irregulares (820 m² + 1110 m²) conclui-se que, de junho de 2005 até junho de 2006, as parcelas regulares apresentaram maior diversidade ($t = 4,1176$; $p < 0,0001$). Os índices de riqueza ($p = 1$), dominância ($p = 0,102$) e equidade ($p = 0,507$) não apresentaram diferenças significativas (Tabela 30).

Tabela 30 – Índices relativos à total da fauna de invertebrados nas áreas regulares e irregulares – jul. 2005 a jun. 2006

	REGULAR	IRREGULAR	PERM. P*
Riqueza de ordens	11	11	1
Nº indivíduos	4319	4396	-
Domin. D	0,2262	0,2335	0,102
Shannon H	1,704	1,636	0
Equidade J	0,7105	0,6822	0,507

Fonte: Leandro (2006).

*P = probabilidade de serem iguais

O teste de rarefação não aponta diferença entre os dois tratamentos (Gráfico 45).

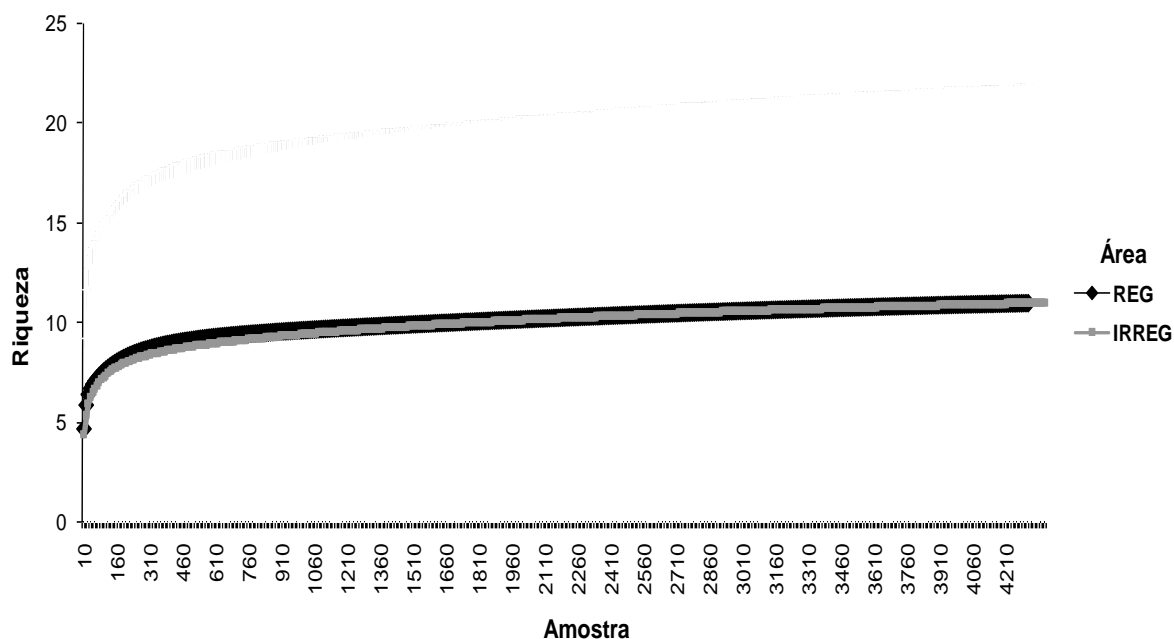


Gráfico 45 – Gráfico de rarefação entre as áreas regulares e irregulares

Fonte: Leandro (2006).

Nos ecossistemas mais quentes e úmidos, as sete ordens com maior número de espécies (Orthoptera, Homoptera, Hemiptera e Lepidoptera, Coleoptera, Diptera e Hymenoptera) são diversificadas e sensíveis a mudanças ambientais. Essas ordens são indicadores da riqueza e saúde dos ecossistemas, fiéis em acusar qualquer modificação de estrutura, diminuição de fluxo de matéria e energia, ou restrição de recursos, e rápidos em anunciar tendências de degradação, regeneração, ou recuperação dos ambientes, em função de sua grande mobilidade e curto ciclo de vida (BROWN-JUNIOR, 2000).

As curvas crescentes dos gráficos de rarefação evidenciam que com o aumento da amostragem aumenta progressivamente o número de ordens e abundância (Gráficos 43, 44 e 45). Esta constatação evidencia que o período de avaliação da fauna de invertebrados no presente caso exige mais tempo de observação porque a reta não expressa um equilíbrio (assíntota). Essa constatação reflete o exíguo tempo desde a implantação do experimento (verão de 2004), e o reduzido número de coleta de dados e provavelmente a oferta de recursos não apresentava ainda diferenças significativas, apesar do crescente desenvolvimento das arbóreas. A diversidade de um grupo indicador está relacionada com a diversidade dos seus recursos e ambiente (BROWN-JUNIOR, 1997). Nos sistemas florestais, a diversidade de nichos, recursos e espécies se expandem por um volume multidimensional limitado apenas pela heterogeneidade topográfica, disponibilidade de radiação e água, frequência de perturbação branda ou imprevisível, e controle pelos ocupantes de níveis tróficos superiores

(BROWN-JUNIOR, 2000; TERBORGH, 1992). Destaca-se que a única espécie arbórea desenvolvida até o final das medições era a *Mimosa scabrella*. As rugosidades (micro-lagos) serviram como atrativo para a fauna, pelo acúmulo de água e nutrientes (Fotos 39, 40 e 41). No entanto, esses micro-lagos, apesar de reterem água, devido aos longos períodos de estiagem secaram diminuindo também o efeito positivo como atratores da fauna.

A radiação na área irregular 820 m² foi sistematicamente mais baixa e pode ter influenciado uma maior diversidade. As médias das temperaturas máximas do ambiente também foram significativamente menores na área irregular de 820 m². As rugosidades do terreno aumentaram a diversidade e heterogeneidade ambiental que foi significativa para atração dos insetos nesta escala de tempo. Os resultados obtidos entre as parcelas de 1110 m² foram opostos aos das parcelas com 820 m². Na parcela irregular 1110 m² a heterogeneidade não foi determinante provavelmente devido à conexão estabelecida entre essa parcela e a irregular 820 m², em função da distribuição espacial no campo, conforme se observa na Figura 19. Além disso, em um trecho da parte inferior dessa parcela irregular houve um desenvolvimento maior da *Mimosa scabrella* que formou um corredor entre a parcela irregular (820 m²) e irregular (1110 m²). Esse maior desenvolvimento da vegetação localizada foi consequência da maior infiltração de água devido a uma drenagem executada nesta parcela para preenchimento da cava com fragmentos de folhelho na fase inicial de implantação do experimento. O método de amostragem se baseia na atração visual dos insetos e a vegetação mais desenvolvida nesse trecho da parcela regular 1110 m² diminui a atração da armadilha em relação à parcela irregular 1110 m². A formação deste corredor pode ter formado um ambiente, com menor radiação e temperatura e maior umidade o que pode ter favorecido a comunidade de artrópodes neste corredor.

Segundo Silveira (1976) a temperatura ideal para o desenvolvimento dos insetos é em média de 25°C, podendo alguns grupos suportar temperaturas que variam de 15°C a 38°C. A umidade relativa do ar foi menor na área irregular de 820 m², porém foi estatisticamente significativa apenas no período de 02 a 08/11/2005. A radiação e umidade são fatores que afetam diretamente a comunidade de artrópodes, principalmente para espécimes que necessitam de ambientes mais estáveis. Alguns organismos, como os artrópodes, são muito sensíveis mesmo a mínimas perturbações, mudando a composição da comunidade, diminuindo, ou desaparecendo com qualquer modificação ambiental (BROWN-JUNIOR, 1997).

As ordens Collembola e Coleoptera, responderam melhor às parcelas irregulares 820m² e 1110 m² que apresentaram umidade mais elevada, menor radiação solar e menor

variação na temperatura, o que supõe que espécies destas ordens não toleram ambientes instáveis, preferindo micro-clima mais estável.

A ordem Thysanoptera foi mais abundante nas parcelas regulares 820 m² e 1110 m². Possivelmente esta ordem responde melhor a ambientes com maior radiação e menor umidade. Esta ordem geralmente é considerada praga, porém não há nenhuma informação a respeito das comunidades naturais no Sul do Brasil (PINENT, 2006).

Lazzari e Lazzarotto (2005) relatam em seu trabalho que o maior número de espécies de hemípteros foi coletado nas armadilhas instaladas em local aberto, facilitando a sua atração. O mesmo ocorreu nessa pesquisa, onde a maior abundância de hemíptera foi coletada nas áreas regulares, onde as armadilhas ficavam mais expostas.

Os aracnídeos não foram muito abundantes e predominaram nas parcelas regulares. Possivelmente, os indivíduos coletados respondem melhor a ambientes mais alterados.

A comparação entre os dois tratamentos de recuperação mostra melhor estrutura vegetal e melhor condições micro-climáticas nas parcelas irregulares, porém somente na parcela irregular (820 m²) é que se pode observar uma maior diversidade dos artrópodes. Como o processo de recuperação é lento e gradativo, será necessária a continuidade dos estudos com comunidade de artrópodes nestas áreas.



Foto 38 – Armadilha visual para coleta de artrópodes na parcela irregular 820 m² – 2006

Fonte: Leandro (2006).



Foto 39 – Armadilha visual para coleta de artrópodes na parcela regular 1110 m² – 2006
Fonte: Leandro (2006).



Foto 40 – Triagem com microscópio estetoscópio para classificação dos artrópodos – 2006
Fonte: Leandro (2006).



Foto 41 – Visualização de girinos nas parcelas com rugosidades – 2004

Fonte: Karstedt (2004).



Foto 42 – Presença de libélulas (Odonata) na rugosidade da parcela irregular (1110 m²) – 2004

Fonte: Karstedt (2004).



Foto 43 – Anfíbio presente na parcela irregular 820 m² – 2006

Fonte: Figueredo (2006).

7.3 VALIDAÇÃO DO MODELO ECOLÓGICO

O modelo ecológico proposto, fundamentado numa metodologia integradora, baseado na inter-relação e interdependência essencial de todos os componentes e fenômenos físicos, químicos e biológicos (Fig. 23), permitiu avaliar, durante a pesquisa, a evolução temporal dos componentes bióticos e abióticos e suas principais interações no processo de recuperação ambiental. As intensidades das relações entre os componentes do sistema variaram temporalmente e espacialmente refletindo as modificações ambientais resultantes do estabelecimento e desenvolvimento da vegetação. Na Tabela 31, é apresentada uma síntese dos resultados da pesquisa das variáveis bióticas e abióticas.

Tabela 31 – Síntese das variáveis bióticas e abióticas nos dois tratamentos de solo

VARIÁVEIS			REGULAR	IRREGULAR
Radiação			Maior	Menor
Temperatura do solo	01 a 06/2004		Tende a ser maior (não significativo)	Tende a ser menor (não significativo)
	02 a 07/02/2005 e 13 a 18/02/2005		Maior	Menor
	14 a 20/07/2005		Maior	Menor
	02 a 08/11/2005		Tende a ser maior	Tende a ser menor
	22 a 26/02/2006		Menor	Maior
Temperatura ambiente			Maior	Menor
Umidade relativa do ar			Tende a ser menor (não significativo)	Tende a ser maior (não significativo)
Umidade do solo (amostra indeformada)	13/01/05	0-5 cm	Maior	Menor
		15-20 cm	Menor (não significativo)	Maior
	28/02/06	0-5 cm	Maior	Menor
		15-20 cm	Maior	Menor
Umidade Natural (gravimétrica-primeiros 30cm)	Desconsiderando as rugosidades		Maior	Menor
	Considerando as rugosidades		Menor	Maior
Densidade Aparente			Tende a ser maior (não significativo)	Tende a ser menor (não significativo)
Porosidade total (VTP)			Tende a ser menor (não significativo)	Tende a ser maior (não significativo)
Volume escoado			Maior	Menor
Coeficiente de escoamento			Maior	Menor
Perda de solo			Maior	Menor
Granulometria	Argila		Menor	Maior
	Silte		Menor	Maior
	Areia		Maior	Menor
Mortalidade			Menor	Maior
Diâmetro 5 cm			Menor	Maior
DAP			Menor	Maior
Altura			Menor	Maior
Área da copa			Menor	Maior
Índice de cobertura	Mai.04		Menor	Maior
	Dez.04		Menor	Maior
	Fev.06		Maior	Menor
Composição florística da vegetação espontânea			Similar	Similar
Altura da vegetação espontânea			Menor	Maior
Fauna			Sem diferenças significativas	Sem diferenças significativas

Fonte: O autor (2007).

Verifica-se que os componentes bióticos e abióticos interagiram espacial e temporalmente, gerando padrões e propriedades ambientais emergentes, diferenciadas nos dois tratamentos. O modelo de sistema ecológico para a recuperação ambiental, tratando a área como um sistema dinâmico complexo, hiper-sensível às condições iniciais de preparação do terreno, permitiu acompanhar a dinâmica evolutiva diferenciada, que foi mais rápida e rica, no tratamento contendo rugosidades. As interações entre os componentes, previstas no modelo, se confirmaram, podendo variar em intensidade ao longo do tempo, como no caso da intensidade das interações entre as rugosidades e a fauna.

As rugosidades, como único diferencial entre os dois tratamentos, desencadearam temporalmente efeitos benéficos para a recuperação ambiental, retendo água, sedimentos, matéria orgânica, nutrientes, sementes e atraindo a fauna de invertebrados. A presença da fauna por sua vez retroagiu sobre a vegetação polinizando-a, predando-a, ampliando as interações. As variações do relevo, neste caso representadas pelas rugosidades, influenciaram as interações entre a radiação solar, a umidade e os nutrientes, criando oportunidades diferenciadas para as espécies vegetais e animais, confirmando assertiva de Vivan (1998). A observação da dinâmica das comunidades confirma que as espécies se substituem ao longo do tempo refletindo as variações ambientais de uma forma heterogênea e dinâmica conforme sugerem Griffith, Dias e Jucksch (1994).

A evolução da vegetação desencadeou uma teia complexa de interações com as variáveis, radiação, temperatura do solo, temperatura do ambiente e umidade relativa do ar, que no processo sucessional se refletiram em maior variabilidade das condições microclimáticas. Nas áreas com tratamento irregular a mudança da estrutura da composição florística desencadeou alterações nas condições microclimáticas mais intensa e heterogênea que nas áreas com tratamento regular. Ao invés de uma relação linear de causa e efeito da vegetação sobre as condições microclimáticas, na qual o maior desenvolvimento da vegetação resultaria em amenização da radiação, temperatura do ambiente e do solo, o que se constatou foi a emergência de um padrão microclimático complexo de interações entre os componentes bióticos e abióticos. Essa complexidade crescente resultou de um processo de interação entre a vegetação e o microclima formando um círculo de causalidade de ação e reação que resultou numa cumplicidade co-evolutiva cada vez mais rica e variada entre a vegetação e o meio abiótico.

A revegetação mais rica e acelerada nas áreas com rugosidades não se refletiu linearmente, por exemplo, amenizando as condições microclimáticas, como sugere Yarranton e Morrison (1974). No entanto, resultou em aumento da heterogeneidade ambiental, tanto da

radiação, da umidade do ar, da temperatura do ambiente, como do solo. As rugosidades dessas áreas se comportaram, ao longo do tempo, como centros do estabelecimento de Cyperaceae e Juncaceae e se transformaram em núcleos para o crescimento de espécies mais exigentes, num fenômeno de nucleação como sugerido por Yarranton e Morrison (1974), análogo ao encontrado em física, tal como o crescimento do granizo. As rugosidades tiveram importante papel na nucleação e na amenização das condições microclimáticas no primeiro estágio. Ao acelerar o crescimento da vegetação nas áreas irregulares ela criou maior heterogeneidade das variáveis avaliadas ampliando a heterogeneidade ambiental como reflexo do crescimento das interações dos componentes bióticos e abióticos.

A área degradada reagiu como um sistema dinâmico complexo e interagiu com o ambiente, adaptando a sua estrutura interna em função dessas interações. A retenção de água nas rugosidades criou micro-nichos adequados ao aporte de Cyperaceae, Juncaceae e fauna aquática potencializando a heterogeneidade ambiental, ampliando ainda mais a diversidade. Apesar da aparente aleatoriedade desses fenômenos de retro-alimentação, evidencia-se certa ordem que emergiu de sua dinâmica evolutiva determinada pela sua estrutura, pelo ambiente e pelas causas endógenas, resultando numa recuperação mais acelerada, complexa e rica nas áreas irregulares. Ao longo do processo, a dinâmica da recuperação tendeu para um estado mais complexo de equilíbrio dinâmico através de mecanismos de autocontrole e autorregulação que entraram em ação como uma resposta às mudanças ambientais que Braga *et al.* (2004) denominam de homeostasia. As rugosidades geraram pequenas ilhas de diversidade com uma nova organização de riqueza, multiplicando a diversidade de micronichos, disponibilizando nutrientes e água mesmo nos períodos de estiagem, ocorridas durante a realização da pesquisa.

A área degradada em processo de recuperação ambiental, analogamente aos sistemas naturais como sugerido por Laslo (1972 *apud* VASCONCELLOS, 2003), se mantém a si própria, evoluindo num ambiente de mudanças em resposta aos desafios do ambiente. A autocriatividade é considerada como uma resposta do sistema às condições do ambiente que não podem ser enfrentadas com a estrutura existente. Os sistemas naturais se auto-organizam diante dos desafios do ambiente, tendendo a uma maior complexidade. Ao irregularizar a superfície da área degradada com formas côncavas e convexas, aumentou-se a heterogeneidade física, potencializando mudanças devido aos gradientes de radiação, temperatura, luz, umidade e aporte de sementes e fauna que são atraídos pelos micro-lagos.

Ao aumentar a circulação interna de matéria (solo, água e nutrientes) pela criação das rugosidades e conseqüente aumento da superfície total da área, provocou-se uma dissipação

diretamente proporcional de energia dentro do sistema degradado. Nas áreas irregulares houve uma tendência de redução do escoamento superficial devido às rugosidades que retiveram a água. Parte da energia da água, por exemplo, foi gasta na erosão das superfícies convexas com uma sedimentação proporcional nas superfícies côncavas, havendo uma dissipação diretamente proporcional da energia da água no sistema. Dessa internalização da energia e matéria, no sistema, resultou um enriquecimento ecológico notadamente maior nos micro-lagos proporcionando maior variabilidade ambiental e aporte de matéria orgânica nas áreas irregulares.

Ao provocar a erosão e lixiviação das formas convexas, aciona-se, na mesma proporção, a sedimentação nas concavidades, dissipando a energia do fluxo da água, criando-se assim a complementaridade no sistema. O aumento da erosão tem um correspondente direto de sedimentação e retenção nas concavidades da área. As Figuras 31 e 32 ilustram os modelos de superfícies dissipadoras e concentradoras de energia do sistema em processo recuperação. Nas superfícies convexas, os fluxos externos e internos de matéria e energia levam à dissipação de energia e perdas por erosão e por lixiviação. Nas superfícies côncavas, os fatores ecológicos estão voltados para dentro do sistema, levando a uma introspecção da matéria e energia tanto de origem externa como interna do sistema. Ao associar os dois modelos de superfícies na recuperação ambiental, criou-se a complementaridade do processo (Fig. 16), minimizando as perdas por erosão e lixiviação otimizando os ganhos de nutrientes, água e sedimentos. Com a internalização da matéria e energia no sistema, houve um enriquecimento ecológico e maior variabilidade ambiental nas áreas com tratamento irregular. O fluxo de matéria e energia foi o mecanismo da sustentabilidade desse processo de enriquecimento e crescimento da heterogeneidade ambiental.

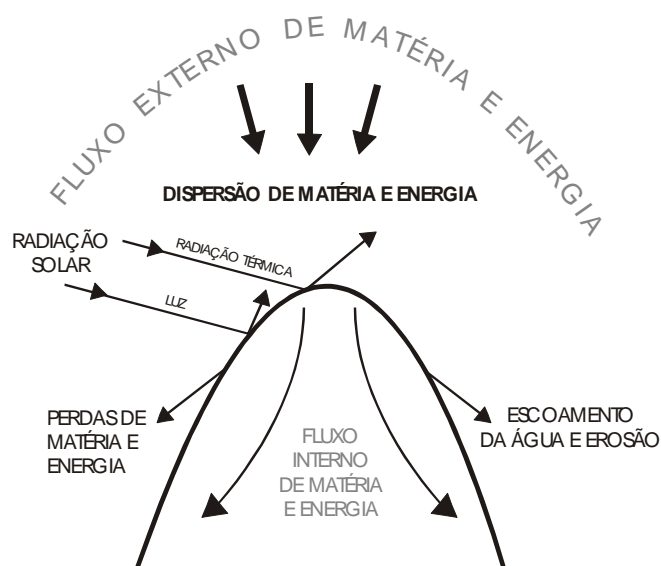


Figura 31 – Modelo de superfície convexa mostrando que tanto o fluxo externo de matéria (água e erosão) e energia (radiação térmica: luz e insolação) como também o fluxo interno de matéria e energia levam a perdas (água e lixiviação química) e dissipação de energia

Fonte: O autor (2007).

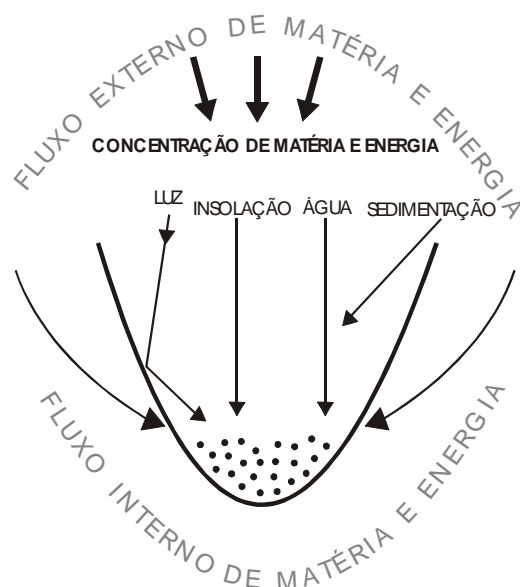


Figura 32 – Modelo de superfície côncava. Observa-se que os vetores ecológicos estão voltados para dentro do sistema. Há uma concentração da matéria e de energia tanto de origem externa como interna. Tem-se a introspecção dos fatores ecológicos

Fonte: O autor (2007).

No processo de recuperação, as áreas regulares se comportaram como superfícies dissipadoras e as precipitações geraram mais escoamentos superficiais para fora do sistema,

desencadeando mais degradação. O volume de água escoado para fora da área regular foi significativamente superior, correspondendo a 6,8 vezes ao da área irregular e as perdas de solo na área regular foram 4,06 vezes superiores, evidenciando uma introspecção da matéria na área irregular previsto por Aumond (2003).

O coeficiente de escoamento médio da área regular foi de 0,133 contra os 0,030 da área irregular. O coeficiente de escoamento médio foi 4,43% vezes maior que na área irregular. O fluxo de matéria e energia na área degradada, como um sistema aberto, teve um efeito negativo, tornando-se uma fonte de perdas irreversíveis e empobrecimento. Isto pode ser comprovado pela perda de solo na área irregular que correspondeu a $0,87 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ contra um total de $3,54 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na área regular.

Apesar da maior retenção de sedimentos nas áreas irregulares, partindo da análise da estrutura do modelo do sistema ecológico para recuperação da área degradada, não fica muito evidente à priori, a função e o potencial de desdobramentos das rugosidades na recuperação. O componente rugosidade, representado no quadrante sudeste do modelo ecológico (Fig. 23), apresenta apenas duas relações muito intensas, consideradas fortes e incluídas na categoria 3 (Quadro 3). A maior concentração das relações intensas entre os componentes do sistema ecológico, mostra círculos de causalidade entre água, vegetação, solo, radiação e fauna e estão representados graficamente a noroeste do componente rugosidade (Fig. 23). Todavia, o modelo proposto não deve ser visto pelo observador como uma imagem estática, pois trata-se de um modelo em que estão representadas as relações de causalidade e retroalimentação que evoluem temporalmente. Nos sistemas dinâmicos complexos, surgem ao longo do tempo propriedades que emergem da interação de suas partes e só podem ser compreendidas em sua dinâmica como um todo integrado e não como uma coleção de partes dissociadas. Nesse caso, a área degradada comportando-se como um sistema dinâmico complexo incorporou uma dinâmica hipersensível às condições iniciais, em que as rugosidades por reterem água, nutrientes, sedimentos e atraírem a fauna desencadearam efeitos que foram amplificados espacial e temporalmente pela retroalimentação ao longo do processo de recuperação. Com o passar do tempo, as rugosidades desencadearam propriedades emergentes aumentando as interações entre outros componentes do sistema. A intensidade das interações teve um comportamento variável, podendo aumentar ou diminuir no tempo, como uma resposta da retroalimentação entre os componentes e também devido às propriedades emergentes.

As rugosidades além de afetarem o microclima no primeiro estágio, pela retenção da água, amenização da temperatura e aumento da umidade, influenciaram beneficemente também a vegetação e a fauna pela criação de “habitats” diferenciados e variáveis no tempo.

As relações intensas das rugosidades com a água e a vegetação, previstas no modelo ecológico se confirmaram ao se transformarem em ilhas de diversidade que por sua vez desencadearam outros circuitos de realimentação com os demais componentes: fauna, solo e microclima. As relações das rugosidades com a fauna, previstas originalmente como de intensidade média (2), se mostraram mais efetivas na recuperação porque ao reterem água e nutrientes se transformaram em ilhas de diversidade, potencializando o efeito de atração da fauna, pela amenização da temperatura e disponibilização de recursos. As interações entre a radiação e a fauna de invertebrados se mostraram variáveis e sua intensidade dependeu da espécie, confirmando observações de Brown-Junior (1997) que os artrópodos são sensíveis, mesmo a mínimas perturbações microclimáticas.

As interações entre as rugosidades e os demais componentes do sistema foram diminuindo de intensidade com o estabelecimento da vegetação e a colmatação dos micro-lagos.

As áreas, em recuperação tiveram nas rugosidades o diferencial por internalizar a matéria e a energia no sistema, potencializando e acelerando a recuperação ambiental. As entradas (*inputs*) no sistema (água, nutrientes e sementes) resultaram num enriquecimento ambiental que propiciaram o estabelecimento da vegetação e o aporte da fauna. As saídas (*output*) do sistema decorreram das entradas (*input*), sendo influenciadas pelas rugosidades, porque o *input* foi transformado no *output* desejado através da retenção de matéria e energia, resultando num maior enriquecimento das áreas irregulares.

Em contraposição, as áreas regulares por funcionarem como superfícies dissipativas e as saídas (*outputs*) levarem a uma degradação ambiental crescente pelo escoamento superficial e conseqüente erosão, dificultaram o estabelecimento da vegetação. As áreas regulares levaram à dispersão de energia e matéria para fora do sistema e, conseqüentemente, apresentaram um empobrecimento devido ao baixo índice de retenção interno de matéria e energia.

Numa área degradada, o índice de retenção de matéria e energia interno é baixo. Analogamente, nos ecossistemas áridos e semi-áridos também pouca energia solar é assimilada e pouco dióxido de carbono (CO₂) é retirado do ar para formar os compostos orgânicos, via fotossíntese. Nos ecossistemas florestais, ao contrário, a energia solar é transformada em energia química, ficando, assim armazenada na forma de substâncias orgânicas (carboidratos e proteínas).

Nessa abordagem para a recuperação de áreas degradadas, os ecossistemas conservados podem ser entendidos aqui, como supersistemas do tipo estruturas dissipativas,

em analogia às estruturas dissipativas de Prigogine *et al.* (1971; 1984). Assim posto, os ecossistemas apresentam uma estrutura organizacional fechada com suas populações de animais e vegetais estabelecidas (Figura 3), estrutura que deve ser almejada nos processos de recuperação. No entanto, seus componentes estão em permanente estado de mudança e o conjunto operacionaliza a cadeia alimentar cíclica com seus diferentes níveis tróficos que é alimentada pelo fluxo externo de matéria e energia (CO₂, água e radiação solar, entre outros).

A floresta é um supersistema dissipativo, estruturalmente aberto ao fluxo de matéria e energia, porém é fechado organizacionalmente. Todos os seus componentes, plantas, animais, solo e sua macro, meso, e microfauna, formam uma rede complexa de interações, caracterizando um conjunto de relações entre processos de produção que se mantêm e produz seus componentes dentro da cadeia alimentar, mantendo o conjunto afastado do estado de equilíbrio.

Nesse processo, flui irreversível e continuamente matéria e energia e a estrutura do ecossistema, como um todo, permanece afastada do estado de equilíbrio. Analogamente em recuperação ambiental, a instabilidade desse processo, associada às técnicas que permitem internalizar parte do fluxo de matéria e energia conduz à auto-organização resultante da emergência de novas estruturas que funcionam como atratores de uma complexidade crescente, advinda da não linearidade do sistema. As rugosidades, nesses casos, são componentes chave para desencadear a recuperação e acelerar a complexidade da cadeia alimentar. A presença de rugosidades numa área degradada otimizam os ganhos de nutrientes, água e sedimentos, com a internalização da matéria e energia no sistema e minimizam as perdas por erosão e lixiviação, resultando num enriquecimento ecológico e proporcionando o estabelecimento de populações de animais e vegetais.

A chave da compreensão do processo de recuperação/restauração ambiental de áreas degradadas está na perspectiva desenvolvida por Prigogine *et al.* (1971), partindo da concepção de Bertalanffy, que sugere que os seres vivos se mantêm, graças ao fluxo de matéria e energia, num equilíbrio dinâmico e são mantidos pela instabilidade do sistema a semelhança dos fragmentos florestais. Nessa perspectiva, dos sistemas denominados dissipativos, na recuperação das áreas degradadas deve haver um contínuo processo de incorporação de matéria e energia, fazendo emergir, da instabilidade uma nova estabilidade fluente, da desordem, uma nova ordem, e do desequilíbrio, um novo estado de equilíbrio dinâmico. Dessarte, áreas degradadas devem ser abordadas como sistemas abertos com estruturas e padrão de organização, em permanente estado de equilíbrio estável, portanto, sem os mecanismos básicos da vida. Diferentemente, os sistemas vivos funcionam afastados do

estado de equilíbrio. Na ótica da teoria dos sistemas dissipativos, devemos, então, ativar o desequilíbrio para reascender os fatores ecológicos e, conseqüentemente, as condições de instabilidade e o fluxo de matéria para recuperação da vida na área degradada.

Deve-se levar a área ao fechamento organizacional, mantendo a abertura ao fluxo de matéria e energia. A revegetação assim encontrará um estado ecologicamente ativo, estimulando todas as possibilidades e mecanismos para se instalar e criar um estado superior de organização ecológica. Provocando a desorganização espacial da área degradada através de rugosidades, criando superfícies convexas adjacentes a superfícies côncavas, aumenta-se a superfície total da área e se aciona o movimento vertical e horizontal da água, a erosão e lixiviação de sedimentos, resíduos orgânicos e colóides que irão depositar-se no interior das depressões do terreno (Figuras 33 e 34). O aumento da superfície do terreno (Figuras 15 e 16) é acompanhado necessariamente de um aumento do fluxo de matéria e energia. Além de aumentar a superfície de contato com oxigênio, dióxido de carbono, água e exposição variável à radiação solar, cria-se um fluxo de macro e micronutrientes numa condição de equilíbrio dinâmico ou “*fliessgleichgewicht*”⁸, na expressão de Bertalanffy (1975), ampliando, assim, as potencialidades ecológicas e acelerando o processo de recuperação ambiental.

Foi necessário desorganizar a paisagem morta para organizar uma nova paisagem viva. Da desordem emergiu uma nova ordem. Ao criar a instabilidade na área degradada, se acionou um processo de evolução temporal com dependência hiper-sensível às condições iniciais, onde atratores gravitacionais representados pelas rugosidades, conduziram a uma reorganização da paisagem análoga à metáfora do efeito borboleta de Lorens (1996), ao abordar a teoria do caos. Pequena diferença no estado inicial da recuperação, representada pelas rugosidades, levaram, ao longo do tempo, a conseqüências em grande escala, resultando numa aceleração da recuperação ambiental. Confirmando observações de Anand e Desrochers (2004) a dinâmica da recuperação evolui em resposta a um atrator estranho desencadeado no presente caso pelas rugosidades, sendo por isso difícil de prever seu estado final. No entanto, a imprevisibilidade da trajetória da recuperação não impede de prever em seu destino uma tendência de aceleração na recuperação e a uma diversidade crescente ao longo do processo.

Não se pode substituir os processos naturais, mas, sim, estimulá-los na busca de um novo estado. Com a desordem ambiental subjacentemente induzida, emerge mais rapidamente uma nova ordem natural interna, mais rica em micronichos, mais aerada, e com mais interações e nutrientes disponíveis, tornando-a mais dinâmica e produtiva.

⁸ Equilíbrio fluente que expressa a coexistência de equilíbrio, de fluxo, de estrutura e de mudança.

As práticas reducionistas de recuperação têm menosprezado os mecanismos de retroalimentação e seus desdobramentos. A vegetação de uma determinada área em processo de recuperação deve ser uma conseqüência de todo um conjunto de procedimentos ecológicos adequados. A revegetação instalar-se-á mais rapidamente com a sinergia humana, incluindo-se a irregularização morfológica do terreno com criação de micro-morfologias (rugosidades), que provocará a variação de insolação, sombreamento, umidade, erosão e sedimentação, gerando enfim, a diversidade física e variação dos demais fatores ecológicos, como conseqüência da maior variabilidade de micronichos disponíveis. Assim se aumentam as interações e interações entre os elementos que compõem o ecossistema local.

Neste enfoque, quanto maior for o número de variáveis físicas, químicas e biológicas mantidas flutuando na área em questão, mais dinâmico será o sistema. Quanto maior for a diversidade de micro-morfologias, incluindo-se formas convexas e côncavas, maior será a erosão e a sedimentação, maior será a variabilidade do padrão de luminosidade e mais intensa a circulação de nutrientes. Quanto maior for a flexibilidade dos componentes do sistema, mais complexa será a rede e os padrões de interconexões e, conseqüentemente, maior será sua capacidade de busca de um novo equilíbrio dinâmico. Aciona-se assim o processo de realimentação do sistema e acelera-se a busca da auto-sustentabilidade.

Nos sistemas degradados, as variáveis ecológicas (luminosidade, temperatura, escoamento de água, ciclagem de nutrientes entre outros) dificultam o aparecimento e enriquecimento da vida, e o padrão de organização será aberto, com elevada entropia, resultando em perdas progressivamente maiores e irreversíveis. A água escoava para fora do sistema, erode e carrega macro e micronutrientes, empobrecendo ainda mais a área degradada. A retenção da água será sempre menor nas áreas desmatadas do que nas áreas em que viceja a vegetação. A insolação direta na superfície do solo provoca oscilações com extremos de temperatura. A transferência de calor solar para o meio, via condução, radiação e convecção, provoca grandes oscilações térmicas no solo, seguidas de enormes perdas para o espaço.

Nos sistemas organizacionalmente abertos, há grandes perdas de matéria e energia e, por isso, propõe-se internalizar os processos ecológicos. A estratégia adequada é levar o sistema, isto é, a área degradada, ao fechamento organizacional, induzindo à introspecção das variáveis ecológicas de forma a aumentar o fluxo de matéria e energia internamente no sistema. A internalização da matéria e da energia conduz a uma variabilidade ambiental maior que facilita o estabelecimento e o aumento da biodiversidade, a produção de biomassa e a auto-sustentabilidade.

Pelo exposto, considera-se que o modelo ecológico proposto se constituiu numa ferramenta importante para entender as relações de causalidade e retroalimentação entre as variáveis e sua evolução temporal.

8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo da hipótese de que as áreas degradadas são sensíveis às condições iniciais de preparação do terreno e tratando-se a área como um sistema dinâmico complexo, estruturou-se um modelo de sistema para a recuperação ambiental de área degradada pela mineração de argila.

Baseado numa abordagem multidisciplinar e interdisciplinar, auxiliado por um modelo ecológico teórico que incluiu os componentes solo, morfologia do terreno (rugosidades), vegetação, fauna (invertebrados), água e microclima (radiação), avaliou-se durante vinte e seis meses (2004 a 2006) o processo de recuperação ambiental.

Partindo de condições iniciais rigorosamente iguais, as áreas degradadas evoluíram diferenciadamente nos dois tratamentos testados. As rugosidades presentes nas áreas irregulares, representadas por superfícies côncavas e convexas associadas, constituíram-se no único diferencial entre os dois tratamentos.

Os gradientes ecológicos resultantes das rugosidades, além de representarem variabilidade ambiental, instabilidade e desequilíbrios, desencadearam, ao longo do tempo, propriedades emergentes que, por sua vez, aceleraram a recuperação ambiental. As rugosidades funcionaram efetivamente como componentes auxiliares na internalização da matéria e energia, retendo água, sedimentos, matéria orgânica, nutrientes e propágulos e se transformaram em ilhas de diversidade, potencializando e acelerando a recuperação ambiental.

A evolução das variáveis ambientais, no modelo de preparação do terreno proposto, desencadeou mudanças da estrutura da composição florística alterando mais intensa e heterogeneamente as condições microclimáticas em relação às áreas regulares.

As variáveis abióticas evoluíram, desencadeando melhoria ambiental para as variáveis bióticas e estas retroagiram influenciando as primeiras. A manipulação do solo por meio da criação das rugosidades favoreceu o maior desenvolvimento da vegetação que retroagiu na radiação solar. A amenização da radiação solar provocou uma reflexão difusa e diferenciada, minimizando as variações diárias da intensidade da luz, da temperatura ambiente e da temperatura do solo que por sua vez exerceu um efeito de retroalimentação sobre a vegetação acelerando a recuperação da área. Na presente pesquisa, sugere-se que não existe uma relação linear de causa e efeito entre a vegetação e a radiação solar. As interações entre a vegetação e a radiação solar tiveram um efeito de retroalimentação em que ambos componentes interagiram mutuamente de forma complexa, dinâmica e heterogênea, que pode

ser modelado por um círculo de causalidade. Os resultados obtidos podem ajudar a compreender as mudanças microclimáticas resultantes da evolução da composição florística e contribuem para o entendimento das mudanças climáticas resultantes de desmatamentos.

A temperatura do solo foi, na maior parte do tempo, menor nas áreas irregulares, como uma resposta ao maior desenvolvimento da *Mimosa scabrella*. Após o primeiro ano, o padrão de temperatura foi mais heterogêneo; no terceiro ano, devido ao efeito de proteção exercido pelas herbáceas e arbustivas que ainda sobreviviam nas áreas regulares, as temperaturas foram maiores nas áreas irregulares. A pesquisa comprovou a importância da temperatura do solo do ponto de vista ecológico no processo de recuperação ambiental de áreas degradadas. A irregularização topográfica, além de amenizar a temperatura do solo e do ar, criou micro-nichos diferenciados estimulando o estabelecimento vegetal. A amenização da radiação solar nas áreas irregulares resultou na amenização das temperaturas máximas e mínimas do ambiente favorecendo a produção vegetal.

As menores radiações e temperaturas nas áreas irregulares provocaram uma tendência para maior umidade relativa do ar. Enquanto a umidade do solo foi menor fora das irregularidades, as superfícies côncavas das rugosidades exerceram importante papel na retenção da água resultando em maior umidade local no solo. Esse fato foi importante, apesar do longo período de estiagem ocorrida durante a pesquisa, porque as rugosidades ainda disponibilizavam umidade para as plantas.

A densidade aparente do solo tendeu a ser maior nas áreas regulares enquanto a porosidade total do solo tendeu a ser maior nas áreas irregulares, porém sem significância estatística, provavelmente indicando que o tempo de avaliação ainda não foi suficiente para mostrar diferenças significativas entre os dois tratamentos. Os resultados de análises químicas do solo também não mostraram variações expressivas e persistentes devido ao pequeno intervalo de tempo de análise. As propriedades físicas do solo foram mais relevantes na recuperação do que a adubação química que foi rigorosamente igual nos dois tratamentos. Fica assim descartada a hipótese reducionista e linear de que quanto mais adubo químico isso poderia significar maior produção primária e mais rápida a recuperação ambiental.

As áreas regulares se comportaram como superfícies dissipadoras de matéria e energia e as precipitações geraram mais escoamento para fora do sistema desencadeando mais degradação. O volume de escoamento da água para fora da área regular foi 6,8 vezes superior ao da área irregular e como consequência as perdas de solo foram 4,06 vezes superiores evidenciando uma maior internalização de matéria na área irregular. As superfícies côncavas das rugosidades concentraram matéria e energia tanto de origem interna como externa do

sistema degradado, tendendo a uma maior introspecção dos fatores ecológicos que levaram a área a uma maior complexidade organizacional.

Conclui-se que em recuperação ambiental tem que trabalhar com a perspectiva de que as áreas degradadas se configuram como sistemas abertos e, temos que induzir o sistema ao fechamento organizacional, porém, mantendo-o aberto ao fluxo de matéria e energia, de forma a manter um equilíbrio dinâmico. As rugosidades provocaram a introspecção da entropia ou sua transformação, de negativa em positiva (sintropia), com reflexos positivos sobre as variáveis ecológicas.

O manejo do solo foi decisivo para o processo de colonização, cobertura e diversidade da cobertura do solo, bem como para a sobrevivência das espécies que se instalaram espontaneamente e para o rápido desenvolvimento da *Mimosa scabrella*.

As variáveis da *Mimosa scabrella* (altura, diâmetro do colo, diâmetro à altura do peito e área da copa) tiveram um crescimento expressivamente maior nas áreas irregulares e as diferenças foram estatisticamente significativas. A vegetação espontânea, representada por herbáceas e arbustivas, permaneceu vigorando mais tempo nas áreas regulares em função das condições favoráveis a essas espécies dos primeiros estádios da sucessão. Nas áreas irregulares, após o segundo ano, o maior desenvolvimento da cobertura arbórea induziu à eliminação de parte da vegetação rasteira, evidenciando um estágio sucessional mais avançado.

O processo de recuperação ambiental é lento e gradativo e nem todas as funções ambientais são atingidas sincrônicamente e por isso será necessária a continuidade dos estudos para avaliar a melhoria das condições edáficas e a evolução da comunidade de artrópodes para conhecer a sua evolução nos dois tratamentos.

O modelo ecológico adotado baseado nos círculos de causalidade facilitou a análise, interpretação e compreensão das interações entre as variáveis e como elas evoluíram espacial e temporalmente. Acredita-se que as rugosidades como os únicos diferenciais entre as áreas estudadas, se comportaram como atratores gravitacionais, gerando ilhas de diversidade que incorporaram ao sistema uma dinâmica hipersensível a essas condições iniciais. Funcionando, como nucleadoras elas retiveram água, nutrientes, sedimentos, atraíram a fauna, e desencadearam efeitos que foram amplificados pela realimentação, potencializando e acelerando a recuperação ambiental.

O modelo ecológico baseado no diagrama de influência se constituiu numa ferramenta importante para entender as relações de causalidade, a retroalimentação das variáveis e sua evolução temporal no processo de recuperação ambiental. O arcabouço teórico

e os resultados práticos obtidos nessa pesquisa validaram esta nova abordagem sistêmica em processos de recuperação ambiental.

A visão reducionista, prática comum em processos de recuperação ambiental, em que os esforços humanos concentram excessivamente suas energias no produto final, isto é, na vegetação, não corresponde às expectativas do processo de recuperação ambiental. Há a necessidade de uma visão crítica e o desenvolvimento de um modelo de sistema para o processo de análise e da prática da recuperação ambiental.

Com esta abordagem, se obtêm expressivos ganhos econômicos, com redução de custos na recuperação de áreas degradadas pela mineração que poderá ser testada na recuperação de obras de terraplanagem, sistemas viários e em inúmeras outras situações na qual se investe excessivamente na regularização da superfície do terreno. As práticas atuais de recuperação de áreas degradadas, resultantes de implantação de obras, como áreas de empréstimos, aterros, taludes em obras rodoviárias, ferroviárias, hidroelétricas e outras tantas, precisam ser discutidas e reavaliadas dentro deste novo enfoque sistêmico. Muitas técnicas adotadas e recomendadas, em manuais de recuperação pelos órgãos públicos, para minimizar ou recuperar o impacto ambiental provocado por essas obras são reducionistas, economicamente caras e ineficientes. Estruturas lineares, tais como terraços e camalhões contínuos, recomendados para reduzir as perdas do solo e água não devem ser aplicados indiscriminadamente. As técnicas adotadas na implantação e recuperação de taludes, bermas e reafeiçoamento topográfico e em muitos outros procedimentos de regularização do terreno, que antecedem a aplicação de hidro-semeaduras, biomantas e geomantas, precisam ser modificadas dentro de uma perspectiva econômica e geo-ecológica adequada. Notadamente em mineração, as práticas de regularização excessiva da topografia têm se mostrado caras, ineficientes e anti-ecológicas para o solo e para a vegetação que têm dificuldade de se estabelecer retardando a recuperação ambiental dessas áreas.

Sugere-se a aplicação da técnica das rugosidades para a conservação da água e para a minimização dos processos erosivos em bacias hidrográficas porque elas internalizam a matéria e energia no sistema e minimizam as perdas por erosão e lixiviação.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Walter A. Pereira; MELLO, Jaime Wilson Vargas de. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, Luiz Eduardo; MELLO, Jaime Wilson Vargas de (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1988.

ACIESP. Academia de Ciências do Estado de São Paulo. **Glossário de ecologia**. Publicação ACIESP n. 57 – ACIESP/CNPq/FAPESP/Secretaria da Ciência e Tecnologia, 1987.

ADRIANO, S. S. **Avaliação da conservação da água e do solo no processo de recuperação de áreas degradadas pela mineração de argila**. Blumenau, 2005. Dissertação (Mestrado), Universidade Regional de Blumenau.

ANAND, Madhur; DESROCHERS, Rachelle E. Quantification of restoration success using complex systems concepts and models. **Restoration Ecology**, v. 12, n. 1, p.117-123. 2004.

ANJOS, J. T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciên. dos Solos**, Campinas, 18, p, 139-145, 1994.

ANJOS, A. R. M.; REISSMAN, C. B. Influência dos resíduos da mineração do xisto no crescimento e no teor foliar de Cd, Co, Cr, Ni e Pb em plantas de *Avena strigosa* Schreber, var. Flãm Nova. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, I e II, 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 283-293.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13030**: elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro, 1999.

ATLAS DE SANTA CATARINA. Gabinete do Planejamento e Coordenação Geral – GAPLAN. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. p. 173.

AUMOND, Juarês José. **Distribuição, características e uso dos argilo-minerais da faixa centro-oriental catarinense**. Florianópolis, 1992. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina.

_____. Relatório de pesquisa de argila de Campo Formoso, município de Benedito Novo/SC. **Departamento Nacional da Produção Mineral**, 1984. 815.344/83. No prelo.

_____. Teoria dos sistemas: uma nova abordagem para recuperação e restauração ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2., 2003, Itajaí. **Anais...** Itajaí, SC: UNIVALI/CTTMar, 2003. p. 43-49.

AUMOND, Juarês José; BALISTIERI, Patrícia Rocha Marques Nunes. Custos da reabilitação ambiental na mineração de matérias primas cerâmicas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO DO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997.

BALENSIEFER, Maurício. **Recuperação de áreas degradadas no Brasil**. São Paulo. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 1997. (Catálogo Bibliográfico)

BALISTIERI, Patrícia da Rocha Marques Nunes; AUMOND, Juarês José. Recuperação ambiental em mina de argila, Doutor Pedrinho/SC. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO DO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997.

BARNES, B. V. et al. **Forest ecology**. Oxford: John, 1997.

BARTH, Richard C. Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil. Viçosa, MG. Sociedade de Investigações Florestais. **Boletim Técnico n. 1**, 1989. 41 p.

BEIGELMAN, B. **Curso prático de bioestatística**. Ribeirão Preto, SP: Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto, 2002. 272 p.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria geral dos sistemas**. Brasília: Petrópolis/Vozes, 1975.

BERTALOT, M. J. A. et al. Retorno de nutrientes ao solo via deposição de serrapilheira de quatro espécies leguminosas arbóreas na região de Botucatu, São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 219-227, jun. 2004.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. Piracicaba, SP: Livroceres, 1985. 368 p.

BITAR, Omar Yazbek. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 1997. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.

BLUM, W. E. H. Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. In: LAL, R. et al. **Methods for assessment of soil degradation**. New York: CRC Press, 1998. p. 1-16.

BORTOT, Athyles; LOCH, Carlos. O uso do CTM na Gestão ambiental: experiência em área de mineração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004.

BOTELHO, Soraya Alvarengo; DAVIDE, Antônio Cláudio. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ÁGUAS E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sobrade, 2002. p. 123-145.

BRADY, Nyle C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1989. 877 p.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Roger Trimer, 2004. 395 p.

BRANDÃO, Viviane S.; PRUSKI, Fernando F.; SILVA, Demetrius D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: UFV, 2003. 98 p.

BRANDT, Wilfred. Avaliação de cenários futuros em planos de fechamento de minas. In: DIAS, Luiz Eduardo; MELLO, Jaime Wilson Vargas (Org.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: [s.n.], 1998. p. 131-135.

BRASIL. Brasília. **Decreto n. 97.632, de 31 de abril de 1989**. Regulamentação do artigo 2, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. DOU. Brasília/DF, 31 de abril 1989. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br.dnpm_Legis/d097632d0.html>. Acesso em: 10 jan. 2005.

_____. **Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965**. Institui o Novo Código Florestal, 1965.

BRESCIANI, E. F.; D'OTTAVIANO, I. M. L. Conceitos básicos de sistêmica. In: D'OTTAVIANO, I. M. L.; GONZÁLES, M. E. Q. **Auto-organização**: estudos interdisciplinares. Campinas: CLE/UNICAMP, 2000. v. 30, p. 283-306.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. **Restoration Ecology**, Malden, MA: [s.n.], v. 2, p. 97-111, 1994.

BROWN-JUNIOR, K. S. Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L. **Indicadores ambientais**. Sorocaba: [s.n.], 1997. 266 p.

_____. Insetos indicadores da história, composição, diversidade e integridade de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Org.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp, 2000. p. 235-247.

BURKART, A. Leguminosas mimosoideas. In: REITZ, P. R. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. p. 179-185.

CABRAL, V. M. et al. Seleção de espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio para utilização na recuperação de áreas mineradas pela Companhia Vale do Rio Doce. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ÁGUAS E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sobrade, 2002. p. 463-465.

CALDWELL, M. M. et al. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 46, p. 40-52, 1998.

CALEGARI, Ademir; VIEIRA, Marcos José. Técnicas de controle da erosão. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola**. Londrina, PR: [s.n.], 1999. p. 53-99.

CALLAWAY, R. M. Positive interaction among plants. **Botanical Review**, New York: [s.n.], v. 61, n. 4, p. 306-349, 1995.

CAMARGO, Luiz H. R. **A ruptura do meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 240 p.

CAMPELLO, Eduardo F. C. Papel de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na recuperação de áreas degradadas – Parte II. In: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – CURSO DE ATUALIZAÇÃO, 3., 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1996. p. 09-15.

_____. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, Luis Eduardo; MELLO, Jaime Wilson Vargas de. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: UFV SOBRADE, 1998. p. 183-196.

CAMPOS, J. M. **A regeneração do solo**. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 2004. 96 p.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cutrix, 1996. 256 p.

CARPANEZZI, A. A. et al. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observação de laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 60., 1990, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Campos do Jordão, SP: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 216-21.

CARPANEZZI, A. A.; CARPANEZZI, O. T. B. Cultivo de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) no Brasil e prioridades para seu aperfeiçoamento. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1993, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992.

CARPANEZZI, O. T. B. **Produtividade florestal e agrícola em sistemas de cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) em Bocaiúva do Sul, Região Metropolitana de Curitiba, Paraná.** Piracicaba, 1994. 77 p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – ESALQ, Universidade de São Paulo.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CHURCHMAN, C. West. **Introdução à teoria dos sistemas.** [S.I.]: Vozes, 1971.

CITADINI-ZANETTE, V.; BOFF, V. P. **Levantamento florístico de áreas mineradas a céu aberto na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil.** Florianópolis: Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1992. 160 p.

CLEMENTS, F. E. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. **Carnegie Institute Publication**, Washington, D.C.: [s.n.], 1916. 512 p.

CNPq-INPE. **Engenharia de sistemas: planejamento e controle de projetos.** 3. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1973.

CORTINES, E.; MAGALHÃES, M. A. F.; MELO FILHO, B. Evolução da diversidade de espécies e da cobertura vegetal em uma área minerada em processo de recuperação no cerrado do Distrito Federal: contribuição da fauna. In: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO-AMERICANO, 6., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SOBRAD, 2005, p. 99-106.

CRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** [S.I.]: Edgard Blücher, 1999.

_____. Sistemas dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em geografia. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; VITTE, Antonio Carlos (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 89-110.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Revegetação de área de empréstimo da Usina Hidrelétrica de Camargos (CEMIG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS-SINRAD, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: SOBRADE, 1997. p. 462-473.

DAVIDE, Antônio Carlos. Seleção de espécies vegetais para recuperação de áreas degradadas. In: I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEP, 1994. p. 111-122.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Variação temporal e espacial de produção de serapilheira em uma área de floresta semidecídua Montana em Lavras/MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 1, p. 11-26, 1997.

DIAS, Luiz Eduardo. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, Luiz Eduardo; MELLO, Jaime Wilson Vargas de. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: SOBRADE, 1998. p. 28-444.

DIAS, Luiz Eduardo; GRIFFITH, James Jackson. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, Luiz Eduardo; MELLO, Jaime Wilson Vargas de. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: SOBRADE, 1998. p. 1-7.

DURIGAN, G. et al. Indução do processo de regeneração da vegetação de cerrado em área de pastagem, Assis, SP. **Acta Botânica Brasílica**, 12 (3): 421-429, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). **Manual técnico da bracatinga (Mimosa scabrella Benth)**. Colombo, 1998. 70 p. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 20)

_____. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)

FERREIRA, Charles A. Gonçalves et al. Reabilitação de áreas mineradas de bauxita no Planalto de Poços de Caldas-MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO DO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997. p. 27-35.

FERREIRA, Henrique M. F. **Princípios de manejo e de conservação do solo**. São Paulo: Nobel, 1981. 135 p.

FIGUEIREDO, Almir, G.; SEVEGNANI, Lúcia; AUMOND, Juarês. Recuperação de área degradada por mineração de argila, com uso de *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae), Doutor Pedrinho, SC. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba, [s.n.], 2006.

FIGUEREDO, Almir G. **Avaliação da recuperação de área degradada pela mineração de argila através do plantio de *Mimosa scabrella* Benth (FABACEAE), sob duas técnicas de preparação do solo, Doutor Pedrinho, SC**. Blumenau, 2005. Dissertação (Mestrado), Universidade Regional de Blumenau.

FONSECA, F. Os efeitos da mineração sobre o meio ambiente. In: BRASIL MINERAL – ESPECIAL: MEIO AMBIENTE, 1989. p 74-80.

FRANCO, A. A.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção de vida no solo: um modelo tecnológico. In: SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E MANEJO DE ECOSISTEMAS, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n.], 1992. p. 93.

FRANCO, A.; NARDOTO, G. B.; SOUZA, M. P. Patterns of soil water potential and seedling survival in the cerrados of Central Brazil. In: PEREIRA, R. C.; NASSER, L. C. B. (Edts). Simpósio sobre o Cerrado/1st International Symposium of Tropical Savannas, 8. internat. Symposium on Tropical Savannas, 1. Planaltina, DF, Brazil. **Anais...** EMBRAPA-CPAC, 1996, p. 277-280.

FRANCO, S. F. et al. **Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata, Minas Gerais**. Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa. MG, v. 26, n.6, p.751-760, 2002.

FRANK, Beate. **Apostilas da disciplina metodologia da pesquisa ambiental**. Blumenau: FURB, 1998.

GANDOLFI, Ricardo; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro. Recomposição de florestas nativas: algumas perspectivas metodológicas para o estado de São Paulo. In: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, III Curso de Atualização.1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 1996. p. 83-100.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Entropy law and the economic process. **Harvard University Press**, Cambridge, 1971.

_____. The steady state and ecological salvation: a thermodynamic analysis. **BioScience**, v. 27, n. 4, p. 266-270, 1977.

GISLER, C. V. T.; MERGURO, M. Alguns aspectos do uso da serapilheira como prática de recuperação de áreas mineradas de bauxita. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 1993. 9 p.

GLEICK, James. **Caos: a criação de uma nova ciência**. 9. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

GOMES-POMPA, A. Possible papel de la vegetación secundária en la evolución de la flora tropical. **Biotrópica**, 3:125-135, 1971.

GONÇALVES-ALVIM, S. J. et al. Diversidade de plantas em áreas degradadas no Quadrilátero Ferrífero, Mina Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Lavras, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Univesidade Federal de Lavras. **Anais...** Belo Horizonte, MG: [s.n.], 2002, p. 152-154.

GRIFFITH, J. J.; TOY, T. J. O estado da arte de recuperação de áreas mineradas no Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1992.

_____. O modelo físico-social da recuperação ambiental. **Revista Brasil Mineral**, v. 22, n. 242, p. 166-174, 2005.

_____. Recuperação conservacionista da superfície de áreas mineradas: uma revisão da literatura. **Boletim Técnico**, Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais/UFV, n. 79, 106 p., 1980.

GRIFFITH, James J.; BERDAGUE, Camila. Autopoiese urbana e recuperação ambiental. **Revista Saneamento Ambiental**. V.6, p. 65-70, 2006.

GRIFFITH, James J., DIAS, L. E.; MARCO JÚNIOR, P. Recuperação ambiental. **Revista Ação Ambiental**, Viçosa, Ano II, n. 10, p. 8-10, fev./mar. 2000.

GRIFFITH, James J.; DIAS, Luiz Eduardo; JUCKSCH, Ivo. Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas no Brasil. In: I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEP, 1994. p. 31-43.

GRIME, J. P. Biodiversity and Ecosystem Function: The Debate Deepens. **Science**, v. 277, p.1260-1261, 1997.

GUEDES, Marcelino Carneiro et al. Seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas por meio da formação de ilhas de vegetação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO DO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997. p. 277-282.

GUERRA, Antonio J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, Antonio J. T.; SILVA, Antonio S.; BOTELHO, Rosangela G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil: [s.n.], 1999. p. 17-55.

GUILHERME, Frederico Augusto Guimarães. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria, Brasília, DF. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 60-66, 2000.

HAMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **Past-Paleontological Statistics**, ver.1.34. Oslo: University of Oslo, 2005.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral das plantas nativas do cerrado: grupos funcionais, In: CAVALCANTI, T. B; WALTER, B. M. T. (Orgs). **Tópicos atuais em botânica**. [S.I.]: SBS/EMBRAPA, 2000. p.159-164.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas por atividade de mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

IPA. Instituto de Pesquisas Ambientais. **Projeto IPA**: plano de prevenção e gerenciamento de enchentes no Vale do Itajaí, variante ao projeto JICA. Blumenau, 1994. No prelo.

JACKSON, L.; LOPOUKHINE, N., HILLYARD, D. Ecological restoration: a definition and comments. **Restoration Ecology**, 3:71-75, 1995.

JESUS, Renato Moraes. Revegetação: da teoria a prática: técnicas de implantação. In: I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: FUPEF, 1994. p. 123-134.

JORGE, Francisco Nogueira; UEHARA, Kokei. Águas de superfície. In: OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sergio Nertan Alves. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 101-109.

JORGE, José A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 328 p.

KAGEYAMA, Paulo et al. Revegetação de áreas degradadas: modelos de consorciação com alta diversidade. In: I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: FUPEF, 1994. p. 569-576.

_____. Consórcio de espécies nativas de diferentes grupos sucessionais em Teodoro Sampaio-SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, SP: Instituto Florestal, 1992. p. 527-533.

KAGEYAMA, Paulo Y.; REIS, Ademir; CARPANEZZI, Antonio A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 1992. p. 1-7.

KAGEYAMA, Paulo, Y; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: Ed. USP/FAPESP, 2000.

KHATOUNIAN, Carlos Armênio. O manejo da fertilidade em sistema de produção. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Uso e manejo de solos de baixa aptidão agrícola.** Londrina: [s.n.], 1999. p. 179-221.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas.** São Paulo: BASF, 1997.

KLEIN, R. M. Ecologia da flora e vegetação do vale do Itajaí. **Sellowia**, n. 32, p. 389, 1980.

KOBIYAMA, Masato; MINELA, Jean Paulo Gomes; FABRIS, Ricardo. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: [s.n.], v. 3, n. 25, p. 10-17, maio/jun. 2001.

KONHKE, H. **Soil physics.** New York: McGraw-Hill, 1968. 224 p.

KÖPPEN, Wilhelm. **Climatologia.** México: Fondo de Cultura, 1948.

LEINS, Viktor; AMARAL, Sergio Estanislau. **Geologia geral.** São Paulo: Nacional, 1989.

LORENS, Eduard N. **A essência do caos.** Brasília: Universidade de Brasília, 1996.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 2. ed. São Paulo: Plantarum, 1998.

MACHADO, S. A. et al. **Comportamento da mortalidade natural de bracatingais nativos em diferentes densidades iniciais e classes de sítio**. Santa Maria, RS: Ciência Florestal, 2002. v. 12, n. 2, p. 41-50.

MACIEL, J. **Elementos de teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1974.

MAFRA, M. N. C. Erosão e planificação de uso dos solos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação os solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 300-322.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Cambridge University Press, 1988. 179 p.

MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: a review of the history and need for such studies. In: MAJER, J. D. (Coord.). **Animal in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands**. Londres: Cambridge University Press, 1989. p. 3-33.

MARGALEF, Ramón. **Ecologia**. Barcelona: Planeta, 1992. 255 p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

MASON, C. F. **Decomposição**. São Paulo: EDU/EDUSP, 1980. v. 18, 63 p. (Temas de Biologia)

MATURANA, Humberto; VARELA, Francisco. **Autopoiesis: the organization of the living**. Originalmente publicado sob o título de Máquinas y Seres Vivos. Santiago (Chile): Editorial Universitaria, 1972.

_____. **De máquinas e seres vivos: autopoiese: a organização do vivo**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. 138 p.

MELO, M. M. da R. F. de. **Demografia de árvores em floresta pluvial tropical atlântica, Ilha do Cardoso, SP, Brasil**. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

MELO, Valério Andrade et al. Efeito de poleiros artificiais na dispersão de sementes por aves. **Revista Árvore**, v. 24, n. 3, 2000, p.235-240.

MERTEM, Gustavo Henrique. **Recuperação de solos através de práticas mecânicas e vegetativas**. Curitiba: UFPr-FPPF-APEF, 1994. v. 1. (Apostila do Curso de Recuperação de

Áreas Degradadas)

MORIN, Edgard. **O método-1: a natureza da natureza**. São Paulo: Sulina. 2003. 480 p.

MOSER, José Marcos et al. Pedologia: aspectos físicos. In: ATLAS DE SANTA CATARINA, Rio de Janeiro: Gaplan, 1986. p. 31-39.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley, 1974. 547 p.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **TREE**, 10, p. 58-62, 1995.

NAEEM, Shahid; LI, Shibin. Biodiversity enhances ecosystem reliability. **Nature**, v. 390/4, p. 507-509, dez. 1997.

NAPPO, Mauro Eloi; OLIVEIRA FILHO, Ary Teixeira; MARTINS, Sebastião Venâncio. A estrutura do sub-bosque e povoamentos homogêneos de *Mimosa scabrella* Bentham, em área minerada, em Poços de Caldas, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria: [s.n.], v. 10, n. 2, p.17-29, 2000.

NAPPO, Mauro Eloi; GRIFFITH, James Jackson; MARTINS, Sebastião Venâncio. Dinâmica da estrutura fitossociológica da regeneração natural em sub-bosque de *Mimosa scabrella* Bentham em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG: [s.n.], v.28, n. 6, p. 811-829, 2004.

NAPPO, Mauro Eloi et al. Dinâmica da estrutura diamétrica da regeneração natural de espécies arbóreas no sub-bosque de povoamento puro de *Mimosa scabrella* Bentham, em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG: [s.n.], v. 29, n. 1, p. 35-46, 2005.

NATALI, P. P.; VIANA, R. F.; FORTES, V. M. Proposta para recuperação ambiental da área de cava e adjacências da mineração de caulim na Fazenda Boa Esperança, em Brás Pires/MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO DO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997. p. 514-524.

NAU, S. R.; SEVEGNANI, L. Vegetação recolonizadora em mina de argila e proposta de recuperação ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO DO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG.

Anais... Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997. p. 54-66.

NEPPEL, M. **Sucessão secundária da vegetação em diferentes modelos de recuperação ambiental em planície aluvial do Rio Benedito, em Timbó, SC.** Blumenau, 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Regional de Blumenau.

O'CONNOR, Ian Mcdermott. **The art of system thinking:** Essencial Skills for creativity and problem solving. London: Thorsens, 1997. 264 p.

ODUM, Eugene. **Fundamental of Ecology.** Filadélfia: Saunders, 1953.

_____. **Ecologia.** Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 1988.

OPEN UNIVERSITY. T860 Environmental decision making: a systems approach. **The Open University**, 1998.

PARROTA, J. A. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 41, p. 115-133, 1992.

PEZZOPANE, José Eduardo Macedo et al. Caracterização da radiação solar em fragmento da Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria: [s.n.], v. 13, n. 1, p. 11-19, 2005.

PIMM, S. L. On patterns and process in forests: Soulé. **M. E. ed. Conservatio Biology – The science of scarcity and diversity**, Massachuttes: Sinauer Associates, 1986. 584 p.

PINENT, S. M. J. et al. Estrutura e composição de espécies de comunidades de Thyanoptera em diferentes micro-habitats no Parque Estadual de Itapuã. **Braz. J. Biol.**, Viamão, RS: [s.n.], 66, p. 765-779, 2006.

POMIANOSKI, D. J. W. **Perdas de solo e água em sistemas agroflorestais da bracatinga (Mimosa scabrella Bentham) em diferentes declividades e manejos.** Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PORTOCARRERO, Hugo; ANDRADE, Aluísio Granato. Abordagem geocológica para planejamento e monitoramento de projeto de recuperação de áreas degradadas: aeroporto internacional do Rio de Janeiro – Galeão/Antonio Carlos Jobim. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p. 487-489.

PR-CNPq. Instituto de Pesquisas Espaciais. **Engenharia de sistemas**: planejamento e controle de projetos. Petrópolis, RJ: Vozes, 1972. p. 15-36.

PRIGOGINE, Ilya; GLANSDORFF, Paul. **Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations**. Nova York: Wiley, 1971/Petrópolis: Vozes, 1997.

PRIGOGINE, Ilya; STENGER, Isabelle. **Order out of chaos**. New York: Bantam, 1984.

PRIMAVESI, O.; CAMARGO, A. C.; PRIMAVESI, A. C. P. A. Recuperação de área desmatada de nascente e mata ciliar, em microbacia hidrográfica ocupada com atividade pecuária, na região de São Carlos, SP: dificuldades e sugestões. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS-SINRAD, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto SOBRADE, p. 446-453. 1997.

PROJETO FAO-GCP/BRA/025FRA. **Melhoramentos do sistema agroflorestal da bracatinga**. Convênio Brasil/Paraná-FRANÇA-FAO. [S.I.: s.n.], 1990. 106 p.

QUEIROZ, Sandra Maria Pereira. **Recuperação de áreas degradadas**: medida mitigadora de impacto ambiental. Curitiba: UFPr-FPPF-APEF, 1994. v. 1.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; SOUZA, B. D. Recuperação de floresta ciliar no rio Cascavel, município de Campo do Tenente-PR, em cambissolo húmico – 3º ano de observação. **Pesquisa em andamento/Embrapa**, ISSN 1517-5022, n. 90, p. 1-5, 2000.

RAIJ, Bernardo van. Melhoria do ambiente radicular do subsolo. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação Cargill Piracicaba, 1989. p. 117-148.

RAMOS, Flávio Santos; SANTOS, Flavio Antonio Maes. Microclimate of Atlantic forest fragments: regional and local scale heterogeneity. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, Curitiba: [s.n.], v. 49, n. 6, nov. 2006.

REGENSBURGER, Brigitte. **Estímulo à sucessão secundária para a recuperação de uma área degradada pela mineração de argila, Campo Formoso, Doutor Pedrinho-SC**. Blumenau, 2000. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação) – Curso de Ciências Biológicas, Universidade Regional de Blumenau.

_____. **Recuperação de áreas degradadas de argila através da regularização topográfica, da adição de insumos e serapilheira, e de atratores da fauna**. Florianópolis, 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.

REICHERT, J. M. et al. Erosão em entressulcos sob distinta intensidade de chuva, declividade do solo e horizonte do solo. Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 4., 2000, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: [s.n.], 2000. p. 81-97.

REICHMANN NETO, Frederico; SANTOS FILHO, A. Desenvolvimento de solos em “áreas de empréstimos”, resultante do plantio de gramíneas e bracatinga. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 1982, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Campos do Jordão, SP: [s.n.], 1982. v. 16-A, p. 3, p. 1896-1899.

REIS, A.; ZAMBONIN, R. M.; NAKASONO, E. M. Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e a interações planta animal. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Governo do Estado de São Paulo. **Série Cadernos da Biosfera 14**, São Paulo, 1999. 42 p.

REIS, Ademir et al. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. In: NATUREZA E CONSERVAÇÃO, v. 1, p. 28-36, abr. 2003.

RESTREPO, C.; VARGAS, A. Seeds and seedlings of two neotropical montane understory shrubs respond differently to anthropogenic edges and treefall gaps. **Oecologia**, 119, p. 419-426, 1999.

RICKLEFS, Robert E. **A economia da natureza**. [S.I.]: Guanabara Koogan, 1996. 470 p.

RIVEREAU, Jean Claude. **Curso de fotointerpretação**. Trad. de R. A. Fuck e J. A. P. Almeida. Brasília: Depto. Geociências UFB, 1970. (Série didática 4)

RODRIGUES, M. P.; SILVA, R. T.; VALCARCEL, R. A infiltabilidade como critério discriminante de eficiência conservacionista em reabilitação de área degradada. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: ÁGUA E DIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFLA, 2002. p.202-204.

RODRIGUES, R.; GANDOLFI, S. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. **Rev. Bras. Ort.**, Campinas: [s.n.], v. 2, n.1, p. 4-15, 1996.

_____. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. **Recuperação de Áreas Degradadas**, Viçosa, MG: Editado por Luiz Eduardo Dias e Jaime Wilson Vargas de Melo/UFV, Depto. Solos/SOBRADÉ, 1998. p. 203-215.

ROLAS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

ROOSE, E.; BLANCANEUX, P. H.; FREITAS, P. L. **Un simple test pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels**: méthode et exemples. Paris: Cahiers Orston, 1993. v. XXVIII, n. 2, p. 413-419. (Série Pédologie – Spécial érosion: réhabilitation des sols)

RUELLE, David. **Acaso e caos**. São Paulo: Unesp, 1993. p. 92-110.

SANTIAGO, Adriano Steinemann. **Avaliação da conservação da água e do solo no processo de recuperação de áreas degradadas pela mineração de argila**. Blumenau, 2005. Dissertação (Mestrado), Universidade Regional de Blumenau. No prelo.

SANTOS, Emerson Alves et al. Variação sazonal do microclima do sub-bosque e de uma mata de encosta no sul da Bahia: outono e inverno. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UESC, 11, 2005, [S.I.] **Anais...** [S.I.: s.n.], 2005. (Ciências Agrárias)

SANTOS, Milton. **Por uma geografia nova**: da crítica da geografia a uma geografia crítica. São Paulo: Hucitec, 1978.

_____. **A metamorfose do espaço habitado**: fundamentos teóricos da geografia. São Paulo: Hucitec, 1991.

SANTOS, P. R. **Distribuição estratigráfica, características e fácies diamictitos e rochas associadas ao subgrupo Itararé no Centro Sul do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 1979. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo.

SCHLINDWEIN, Sandro Luis. Prática sistêmica para lidar com situações de complexidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS, 1., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: [s.n.], 2005.

SEITZ, Rudi Arno. A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. In: I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: FUPEF, 1994. p.111-122.

SENGE, Peter M. **A quinta disciplina**. São Paulo: Ed. Best Seller, 1999. 443 p.

SENTIS, P. I. Y Uso e Manejo y Degradación de Suelos en America Latina: situação atual perspectivas de futuros. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DEL SUELO, 12., 1993, Salamanca, Espana. **Anais...** Salamanca, Espana: [s.n.], 1993.

SILANS, Alain Passerat; SILVA, Fernando Moreira; BARBOSA, Francisco de Assis dos Reis. Determinação in loco da difusividade térmica num solo da vegetação da Caatinga (Pb). Rev. **Brasil. de Ciências do Solo**, Viçosa: [s.n.], v. 30, n. 1, jan./fev. 2006.

SIVEIRA-NETO, S. **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 419 p.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. Trad. Carlos A. F. Monteiro e Dora A. Romariz. São Paulo: Inst. Geog. da USP, 1977.

SOUZA, Gustavo M.; BUCKERIDGE, Marcos S. Sistemas complexos: novas formas de ver a Botânica. **Revista Brasil Botânica**, [S.I.: s.n.], v. 27, n. 3, p. 407-419, jul./set. 2004.

SOUZA, Marília Gonçalves et al. Revegetação de taludes em cava de mina de ferro com uso de geo-textil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO AO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997. p. 572-577.

SOUZA, Menezes et al. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Sci. Agric. Piracicaba Braz.**, [S.I.: s.n.], v. 63, n. 2, p. 161-168, mar./apr. 2006.

SOUZA, Patrícia Aparecida et al. Avaliação do banco de sementes contido na serapilheira de um fragmento florestal visando recuperação de áreas degradadas. **Cerne**, Lavras: [s.n.], v. 12, n.1, p.56-67, jan./mar. 2006.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Balanço hídrico das plantas. In: TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 75-91.

TANNO, Luiz Carlos; SINTONI, Ayrton. **Mineração & Município**: bases para o planejamento e gestão dos recursos minerais. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas e Tecnologias, 2003.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos (Boletim Técnico), 51, 1995. 174 p.

TRES, D. R. et al. Uso de técnicas nucleadoras para restauração ecológica de matas ciliares, Rio Negrinho, SC. In: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 6., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SOBRADE, 2005. p. 71-79.

TROPPEMAIR, Helmut. **Biogeografia e meio ambiente**. Rio Claro: Divisa, 2006. 206 p.

_____. **Sistemas, geossistemas, geossistemas paulistas e ecologia da paisagem**. Rio Claro: UNESP, 2004. 130 p.

UBERTI, Antonio Ayrton Auzani. **Santa Catarina**: proposta de divisão territorial em regiões edafoambientais homogêneas. Florianópolis, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e climatologia**. Brasília, DF: Gráfica e Ed. Pax., 2001. 532 p.

VASCONCELLOS, Maria José Esteves. **Pensamento sistêmico**: o novo paradigma da ciência. Campinas, SP: Papirus, 2003. 240 p.

VIBRANS, Alexander Cristian. **A cobertura florestal da Bacia do Rio Itajaí**: elementos para uma análise histórica. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina.

VIVAN, Jorge Luis. **Agricultura e florestas**: princípios de uma interação vital. Guaíba: Agropecuária, 1998. 207 p.

YARRANTON, G. A.; MORRISON, R. G. Spatial dynamics of primary succession: nucleação. **Journal of Ecology**, 62(2), p. 417-428, 1974.

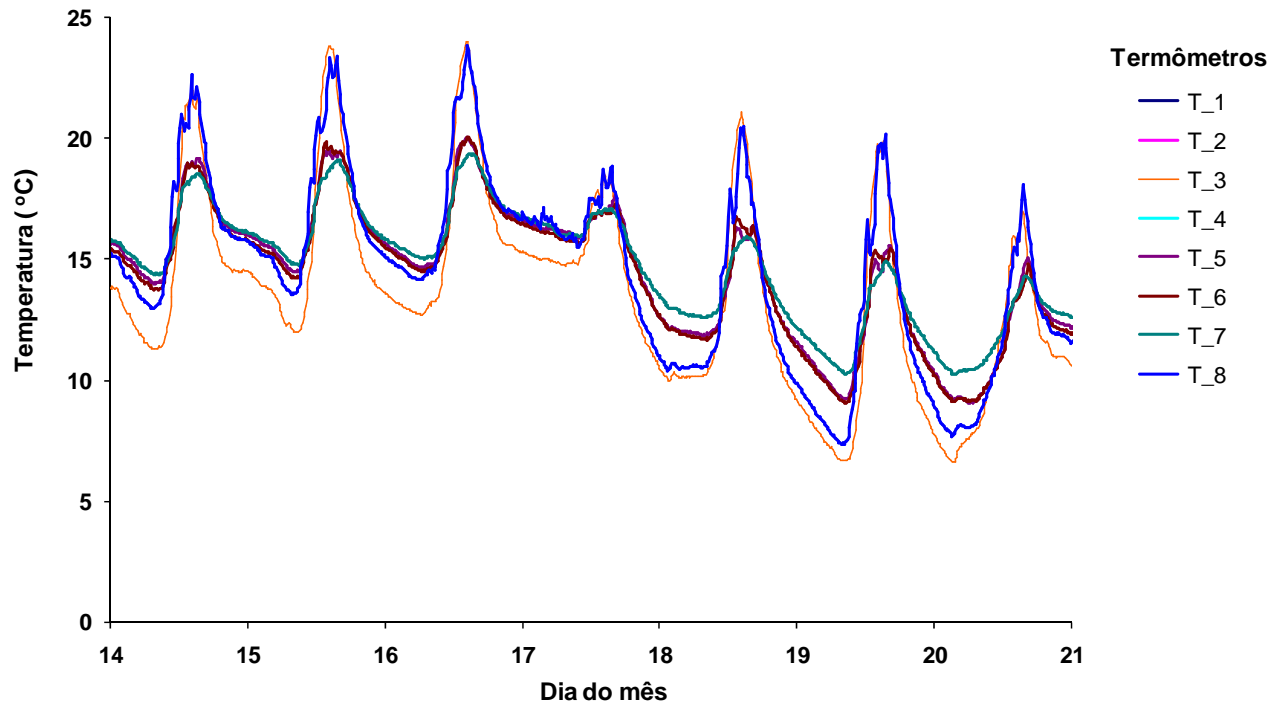
ZIMMERMANN, D. G.; TREBIEN, D. O. P. Solos construídos em áreas mineradas como fundamento para recuperar o ambiente. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma: FUCR/UNESC, v. 7, n. 1, p. 61-103, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Temperatura do solo (°C) entre 14 a 20/07/2005 nas parcelas Regular 820 m ² (T_1 a T_4) e Irregular 820 m ² (T_5 a T_8)	250
APÊNDICE B – Temperatura do solo (°C) entre 14 a 20/07/2005 nas parcelas Regular 1110m ² (T_9 a T_12) e Irregular 1110 m ² (T_13 a T_16)	251
APÊNDICE C – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_3, T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_5, T_7, T_13, T_15) entre 14 a 20/07/05	252
APÊNDICE D – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_6, T_8, T_14, T_16) entre 14 a 20/07/05	253
APÊNDICE E – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_13, T_15) nos períodos de 14 a 16/07/05	254
APÊNDICE F – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_14, T_16) entre 14 a 16/07/05	255
APÊNDICE F – Temperatura do solo (°C) na primavera de 2005 entre os dias 02 a 08/11/2005 nas parcelas Regular 820 m ² (T_1 a T_4) e Irregular 820 m ² (T_5 a T_8).	256
APÊNDICE H – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_3, T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_5, T_7, T_13, T_15) nos períodos de 02 a 08/11/05	257
APÊNDICE I – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_6, T_8, T_14, T_16) nos períodos de 02 a 08/11/05	258
APÊNDICE J – Temperatura do solo (°C) entre 05 a 08/11/2005 nas parcelas Regular 1110m ² (T_9 a T_12) e Irregular 1110 m ² (T_13 a T_16).....	259
APÊNDICE K – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_13, T_15) entre 05 a 08/11/05	260
APÊNDICE L – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares	

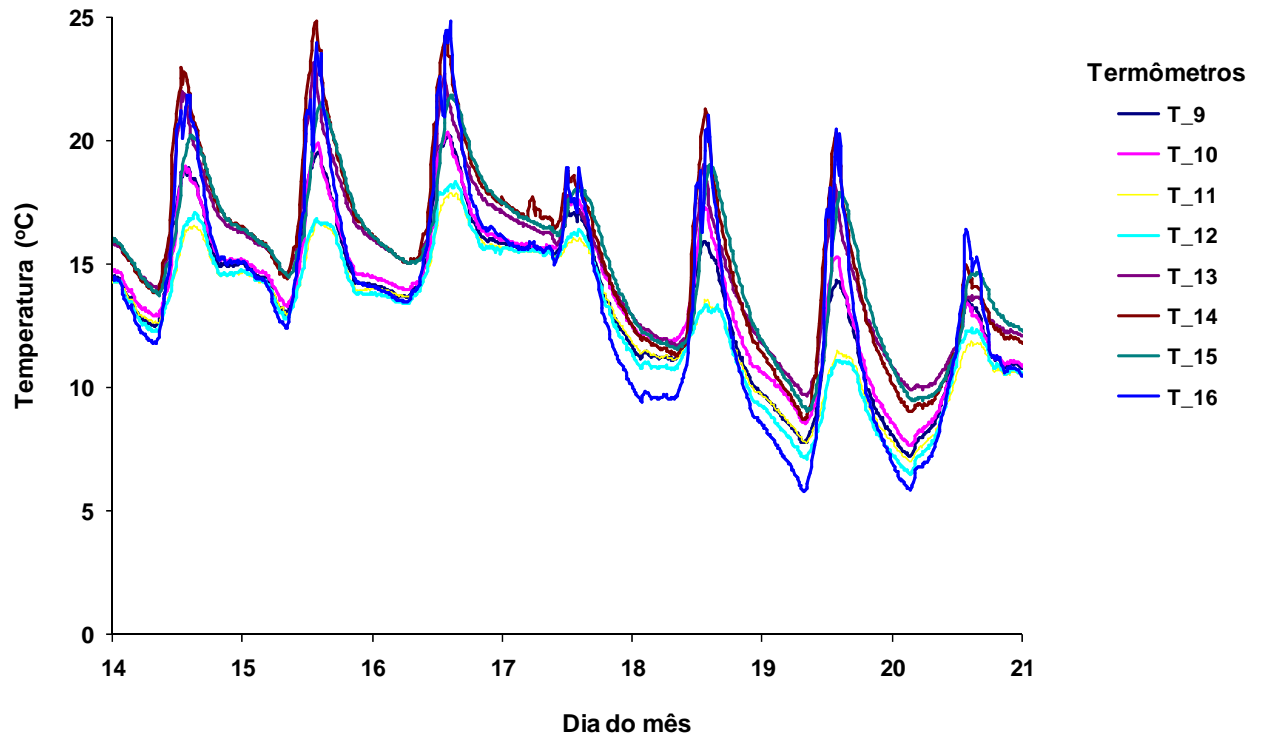
(termômetros T_14, T_16) entre 05 a 08/11/05	261
APÊNDICE M – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_3, T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_5, T_7, T_13, T_15) no verão de 2006 entre os dias 22 a 26/02/06.....	262
APÊNDICE N – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_6, T_8, T_14, T_16) nos períodos de 22 a 26/02/06	263
APÊNDICE O – Coeficientes de escoamento para as áreas regular e irregular.....	264
APÊNDICE P – Perda de solo por período e total das áreas regular e irregular.....	265

APÊNDICE A – Temperatura do solo (°C) entre 14 a 20/07/2005 nas parcelas Regular 820 m² (T_1 a T_4) e Irregular 820 m² (T_5 a T_8)



Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE B – Temperatura do solo (°C) entre 14 a 20/07/2005 nas parcelas Regular 1110 m² (T_9 a T_12) e Irregular 1110 m² (T_13 a T_16)



Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE C – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T₃, T₉, T₁₁) e irregulares (termômetros T₅, T₇, T₁₃, T₁₅) entre 14 a 20/07/05

Período	T ₃	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
14 a 20/07/2005	13,60	14,47	8,63x10-10	13,60	14,71	4,28x10-16	13,60	14,95	6,08x10-20	13,60	15,00	4,28x10-21

Período	T ₉	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
14 a 20/07/2005	13,45	14,47	6,15x10-17	13,45	14,71	9,28x10-28	13,45	14,95	2,12x10-31	13,45	15,00	7,02x10-33

Período	T ₁₁	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
14 a 20/07/2005	12,82	14,47	4,71x10-45	12,82	14,71	1,04x10-65	12,82	14,95	1,91x10-65	12,82	15,00	3,87x10-67

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE D – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_6, T_8, T_14, T_16) entre 14 a 20/07/05

Período	T_10	T_6	P(T<=t) bi-caudal	T_10	T_8	P(T<=t) bi-caudal	T_10	T_14	P(T<=t) bi-caudal	T_10	T_16	P(T<=t) bi-caudal
14 a 20/07/2005	13,74	14,34	4,37x10-07	13,83	14,57	2,06x10-06	13,74	15,21	3,17x10-26	13,74	13,61	0,4050

Período	T_12	T_6	P(T<=t) bi-caudal	T_12	T_8	P(T<=t) bi-caudal	T_12	T_14	P(T<=t) bi-caudal	T_12	T_16	P(T<=t) bi-caudal
14 a 20/07/2005	12,77	14,34	8,91x10-39	12,76	14,57	2,08x10-30	12,77	15,21	2,31x10-66	12,77	13,61	1,21x10-08

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE E – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_13, T_15) nos períodos de 14 a 16/07/05

Período	<i>T_9</i>	<i>T_13</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_9</i>	<i>T_15</i>	P(T<=t) bi-caudal
14 a 16/07/2005	15,57 (± 2,057)	17,22 (± 2,266)	3,94x10-26	15,57 (± 2,057)	17,13 (± 2,140)	5,64x10-25

Período	<i>T_11</i>	<i>T_13</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_11</i>	<i>T_15</i>	P(T<=t) bi-caudal
14 a 16/07/2005	14,85 (± 2,140)	17,22 (± 2,266)	4,03x10-61	14,85 (± 2,140)	17,13 (± 2,140)	8,90x10-62

Fonte: O autor (2007).

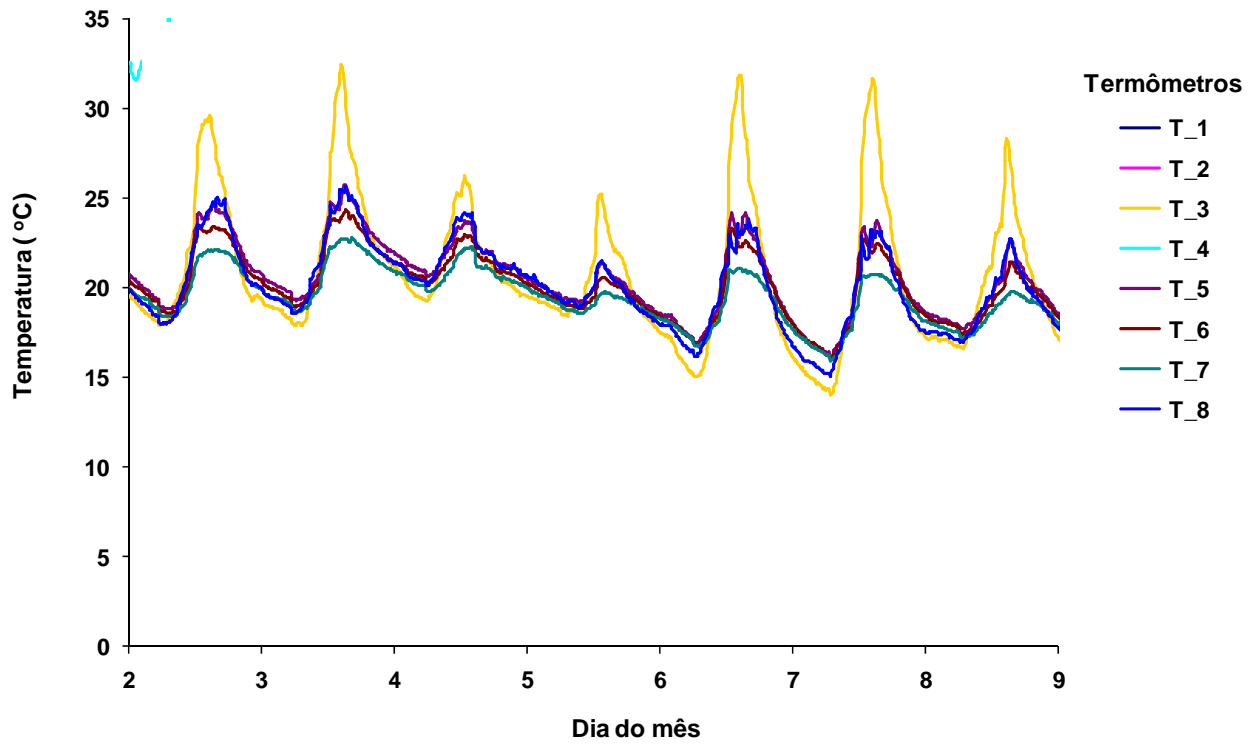
APÊNDICE F – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_14, T_16) entre 14 a 16/07/05

Período	<i>T_10</i>	<i>T_14</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_10</i>	<i>T_16</i>	P(T<=t) bi-caudal
14 a 16/07/2005	15,70 (± 1,929)	17,71 (± 2,781)	9,41x10 ⁻³¹	15,70 (± 1,929)	16,16 (± 3,134)	0,0115

Período	<i>T_12</i>	<i>T_14</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_12</i>	<i>T_16</i>	P(T<=t) bi-caudal
14 a 16/07/2005	14,85 (± 1,516)	17,71 (± 2,781)	1,28x10 ⁻⁶⁰	14,85 (± 1,516)	16,16 (± 3,134)	1,01x10 ⁻¹³

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE G – Temperatura do solo (°C) na primavera de 2005 entre os dias 02 a 08/11/2005 nas parcelas Regular 820 m² (T_1 a T_4) e Irregular 820 m² (T_5 a T_8).



Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE H – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T₃, T₉, T₁₁) e irregulares (termômetros T₅, T₇, T₁₃, T₁₅) nos períodos de 02 a 08/11/05

Período	T ₃	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
02 a 08/11/2005	20,75	20,48	0,0561	20,75	19,51	1,13x10-19	20,75	19,50	7,49x10-19	20,75	20,20	0,0001

Período	T ₉	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
02 a 08/11/2005	20,58	20,48	0,2663	20,58	19,51	1,99x10-37	20,58	19,50	4,14x10-33	20,58	20,20	4,46x10-05

Período	T ₁₁	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
02 a 08/11/2005	20,71	20,48	0,0122	20,71	19,51	1,13x10-46	20,71	19,50	3,22x10-41	20,71	20,20	4,25x10-08

Fonte: O autor (2007).

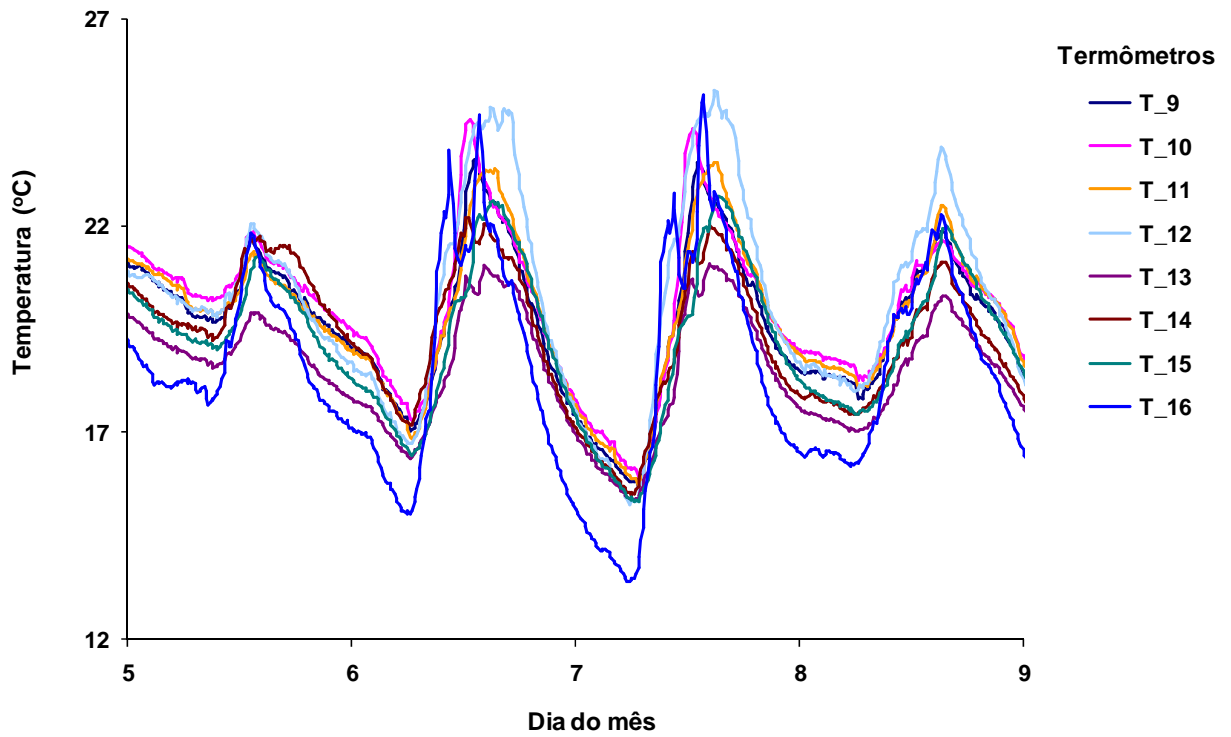
APÊNDICE I – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_6, T_8, T_14, T_16) nos períodos de 02 a 08/11/05

Período	T_10	T_6	P(T<=t) bi-caudal	T_10	T_8	P(T<=t) bi-caudal	T_10	T_14	P(T<=t) bi-caudal	T_10	T_16	P(T<=t) bi-caudal
02 a 08/11/2005	20,86	20,08	9,66x10-19	20,86	20,11	4,61x10-14	20,86	20,26	5,38x10-11	20,86	19,69	7,08x10-25

Período	T_12	T_6	P(T<=t) bi-caudal	T_12	T_8	P(T<=t) bi-caudal	T_12	T_14	P(T<=t) bi-caudal	T_12	T_16	P(T<=t) bi-caudal
02 a 08/11/2005	21,24	20,08	1,41x10-28	21,25	20,11	3,17x10-23	21,24	20,26	4,80x10-20	21,24	19,69	1,99x10-34

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE J – Temperatura do solo (°C) entre 05 a 08/11/2005 nas parcelas Regular 1110 m² (T_9 a T_12) e Irregular 1110 m² (T_13 a T_16)



Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE K – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_9, T_11) e irregulares (termômetros T_13, T_15) entre 05 a 08/11/05

Período	<i>T_9</i>	<i>T_13</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_9</i>	<i>T_15</i>	P(T<=t) bi-caudal
05 a 08/11/2005	19,65 (± 1,743)	18,51 (± 1,395)	4,95x10-31	19,65 (± 1,743)	19,22 (± 1,779)	6,27x10-05

Período	<i>T_11</i>	<i>T_13</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_11</i>	<i>T_15</i>	P(T<=t) bi-caudal
05 a 08/11/2005	19,80 (± 1,770)	18,51 (± 1,395)	1,16x10-37	19,80 (± 1,770)	19,22 (± 1,779)	1,17x10-07

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE L – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T_10, T_12) e irregulares (termômetros T_14, T_16) entre 05 a 08/11/05

Período	<i>T_10</i>	<i>T_14</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_10</i>	<i>T_16</i>	P(T<=t) bi-caudal
05 a 08/11/2005	19,99 (± 1,780)	19,32 (± 1,631)	9,83x10-11	19,99 (± 1,780)	18,51 (± 2,453)	1,33x10-28

Período	<i>T_12</i>	<i>T_14</i>	P(T<=t) bi-caudal	<i>T_12</i>	<i>T_16</i>	P(T<=t) bi-caudal
05 a 08/11/2005	20,21 (± 2,353)	19,32 (± 1,631)	5,35x10-13	20,21 (± 2,353)	18,51 (± 2,453)	5,23x10-30

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE M – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 2,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T₃, T₉, T₁₁) e irregulares (termômetros T₅, T₇, T₁₃, T₁₅) no verão de 2006 entre os dias 22 a 26/02/06

Período	T ₃	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₃	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
22 a 26/02/2006	21,19	22,74	5,66x10 ⁻³³	21,19	21,60	0,0005	21,19	22,21	2,63x10 ⁻¹⁵	21,19	23,76	2,70x10 ⁻⁷²

Período	T ₉	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₉	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
22 a 26/02/2006	22,29	22,74	7,69x10 ⁻⁶	22,29	21,60	3,47x10 ⁻¹³	22,29	22,21	0,4621	22,29	23,76	2,19x10 ⁻³⁷

Período	T ₁₁	T ₅	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₇	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₁₃	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₁	T ₁₅	P(T<=t) bi-caudal
22 a 26/02/2006	22,08	22,74	6,61x10 ⁻¹³	22,08	21,60	6,20x10 ⁻⁰⁹	22,08	22,21	0,1621	22,08	23,76	2,51x10 ⁻⁵⁴

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE N – Médias comparativas da temperatura do solo (°C) na profundidade de 7,5 cm, entre as parcelas regulares (termômetros T₁₀, T₁₂) e irregulares (termômetros T₆, T₈, T₁₄, T₁₆) nos períodos de 22 a 26/02/06

Período	T ₁₀	T ₆	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₀	T ₈	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₀	T ₁₄	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₀	T ₁₆	P(T<=t) bi-caudal
22 a 26/02/2006	22,32	22,42	0,3206	22,32	22,97	5,53x10 ⁻⁰⁸	22,32	23,55	2,99x10 ⁻³¹	22,32	22,21	0,4767

Período	T ₁₂	T ₆	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₂	T ₈	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₂	T ₁₄	P(T<=t) bi-caudal	T ₁₂	T ₁₆	P(T<=t) bi-caudal
22 a 26/02/2006	22,70	22,42	0,0037	22,70	22,97	0,0288	22,70	23,55	5,95x10 ⁻¹⁵	22,70	22,21	0,0020

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE O – Coeficientes de escoamento para as áreas regular e irregular

Período	Coeficiente de escoamento	
	Área regular	Área irregular
27/03/04 a 07/04/04	0,036	0,0114
07/04/04 a 12/04/04	0,051	0,0000
12/04/04 a 19/04/04	0,364	0,0734
19/04/04 a 23/04/04	0,552	0,0000
23/04/04 a 04/05/04	0,043	0,0076
04/05/04 a 05/05/04	0,125	0,0055
05/05/04 a 10/05/04	0,060	0,0032
10/05/04 a 13/05/04	0,082	0,0477
13/05/04 a 24/05/04	0,038	0,0074
24/05/04 a 25/05/04	0,285	0,1623
25/05/04 a 10/06/04	0,123	0,0333
10/06/04 a 06/07/04	0,029	0,0139
06/07/04 a 09/07/04	0,077	0,0403
09/07/04 a 21/07/04	0,020	0,0203
21/07/04 a 30/07/04	0,058	0,0000
30/07/04 a 02/08/04	0,597	0,0000
02/08/04 a 23/09/04	0,037	0,0078
23/09/04 a 26/10/04	0,034	0,0124
26/10/04 a 01/12/04	0,074	0,0042
1º/12/04 a 20/12/04	0,097	0,0000
20/12/04 a 17/01/05	0,073	0,0000
17/01/05 a 25/01/05	0,074	0,0000
Média	0,133	0,0300

Fonte: O autor (2007).

APÊNDICE P – Perda de solo por período e total das áreas regular e irregular

Período	Sedimentos (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
	Área regular	Área irregular
27/03/04 a 07/04/04	0,0565	0,0819
07/04/04 a 12/04/04	0,0032	0,0000
12/04/04 a 19/04/04	0,2704	0,1088
19/04/04 a 23/04/04	0,1161	0,0000
23/04/04 a 04/05/04	0,0747	0,0305
04/05/04 a 05/05/04	0,1245	0,0005
05/05/04 a 10/05/04	0,0878	0,0134
10/05/04 a 13/05/04	0,0108	0,0517
13/05/04 a 24/05/04	0,0024	0,0004
24/05/04 a 25/05/04	0,0070	0,0186
25/05/04 a 10/06/04	0,2238	0,0725
10/06/04 a 06/07/04	0,0628	0,0426
06/07/04 a 09/07/04	0,0435	0,0362
09/07/04 a 21/07/04	0,0228	0,0266
21/07/04 a 30/07/04	0,0217	0,0000
30/07/04 a 02/08/04	0,3234	0,0000
02/08/04 a 23/09/04	0,1896	0,0799
23/09/04 a 26/10/04	0,6784	0,2892
26/10/04 a 01/12/04	0,2944	0,0202
1º/12/04 a 20/12/04	0,2179	0,0000
20/12/04 a 17/01/05	0,3803	0,0000
17/01/05 a 25/01/05	0,0960	0,0000
25/01/05 a 21/02/05	0,2312	0,0000
Total	3,54	0,87

Fonte: O autor (2007).