

LEOCADIO GRODZKI

**EFEITOS DO FOGO SOBRE VARIÁVEIS
MICROMETEOROLÓGICAS EM UMA FLORESTA
DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* BENTH.)
MANEJADA SOB O SISTEMA AGROFLORESTAL,
EM COLOMBO, PR**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares

CURITIBA

2000




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL

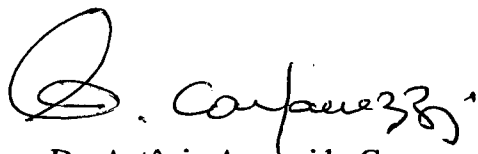
PARECER DE DEFESA DE TESE n.º 98

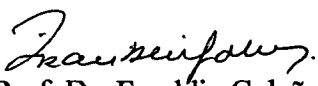
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pelo candidato **LEOCADIO GRODZKI**, sob o título **"EFEITOS DO FOGO SOBRE O MICROCLIMA DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* BENTHAN)"**. para obtenção do grau de **Doutor** em Ciências Florestais, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**.

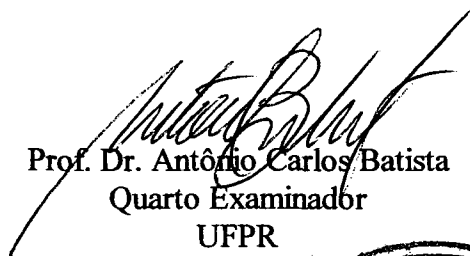
Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Tese.

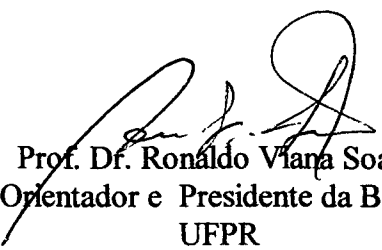
Curitiba, 20 de Outubro de 2000.


Prof. Dr. Guido Assunção Ribeiro
Primeiro Examinador
Depto. Engenharia Florestal
UFV


Pesq. Dr. Antônio Aparecido Carpanezi
Segundo Examinador
EMBRAPA


Prof. Dr. Franklin Galvão
Terceiro Examinador
UFPR


Prof. Dr. Antônio Carlos Batista
Quarto Examinador
UFPR


Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares
Orientador e Presidente da Banca
UFPR



À Ana Maria, à Ana Cristina, ao Leo
Eduardo e ao Luiz Fernando

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, por dar seu apoio e proporcionar a oportunidade de fazer o Doutorado.

Ao professor Dr. Ronaldo Viana Soares, pela orientação e incentivo à execução deste trabalho, desde os primeiros traçados do projeto até a sua finalização.

Aos professores co-orientadores Dr. Antonio Carlos Batista e Dr. Paulo Caramori pela paciência em ouvir e discutir determinadas etapas, bem como pelo clima de amizade que envolveu o trabalho.

Ao Centro de Pesquisas Florestais da EMBRAPA, nas pessoas dos pesquisadores e amigos Dr. Antonio Aparecido Carpanezi, Dr. Amilton João Baggio, Dr. Américo Pereira de Carvalho e Dr. Renato Dedecek, pelas sugestões e auxílio no desenvolvimento das diversas etapas do trabalho, bem como pela cessão dos Laboratórios de Solos e Ecologia, para análise dos materiais de campo.

Aos funcionários do IAPAR, Ataíde Gonçalves dos Santos e Hélio Borges Lourenço, pela ajuda na montagem e desmonte das torres no campo.

Aos funcionários da EMBRAPA, Arnaldo de Oliveira e José Amilcar de Sousa, Técnicos Florestais, pelas leituras de sobrevivência e auxílio na identificação de espécies arbóreas.

Ao professor Dr. Nelson Dias do SIMEPAR, pelas sugestões na instalação das torres e desenvolvimento dos psicrômetros ventilados.

Às colegas Cristhiane Michiko Passos Okawa e Akemi Kan do SIMEPAR, no auxílio ao uso de programa específico para elaboração das figuras.

Aos meus colegas e amigos Drs. Maria Regina Boeger, Emílio Rotta e Ivan Crespo, por compartilharem suas experiências e amizade durante este trabalho.

Ao Sr. Antonio Andreatta e seus filhos Elias e Eliseu, pela cessão da área, bem como pela amizade, paciência e auxílio por ocasião da queima dos resíduos florestais.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro, sem o qual seria difícil a execução do trabalho.

À minha família nas pessoas da minha querida esposa, Ana Maria Gonçalves Grodzki e meus filhos Ana Cristina, Leo Eduardo e Luiz Fernando, pelo incentivo, carinho e apoio para a execução deste trabalho.

Quero deixar um agradecimento especial ao meu filho Luiz Fernando que foi meu companheiro no campo, principalmente na instalação dos aparelhos micrometeorológicos a 6 m ("herói das alturas").

Aos demais amigos que em algum momento colaboraram dando sua sugestão ou sua ajuda no desenvolvimento da tese.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 BRACATINGA.....	4
2.2 EXPLORAÇÃO DA BRACATINGA.....	5
2.3 REGENERAÇÃO DA BRACATINGA E FORMAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES FLORESTAIS	6
2.4 O FOGO COMO AGENTE DE LIMPEZA E RENOVAÇÃO DAS ESPÉCIES.....	8
2.5 QUEIMA CONTROLADA.....	9
2.6 QUEIMA CONTROLADA EM BRACATINGAIS.....	11
2.6.1 Tamanho da área.....	11
2.6.2 Condições ambientais de queima.....	11
2.6.3 Material combustível.....	12
2.6.4 Comportamento do fogo.....	13
2.6.4.1 Velocidade de propagação.....	14
2.6.4.2 Intensidade do fogo.....	15
2.6.4.3 Calor liberado por unidade de área.....	17
2.6.4.4 Tempo de residência.....	18
2.6.4.5 Temperatura de queima.....	18
2.6.6 Efeito do fogo na temperatura do solo.....	20

2.6.7 Efeito do fogo sobre os nutrientes.....	21
2.7 VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS E O MEIO AMBIENTE DE FLORESTAS.....	23
2.7.1 Balanço de energia – Razão de Bowen.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
3.1.1 Localização.....	32
3.1.2 Clima.....	32
3.1.3 Solo.....	35
3.1.4 Vegetação.....	35
3.1.5 Características da área de estudo.....	36
3.2 AVALIAÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	36
3.3 AVALIAÇÃO DA QUEIMA.....	38
3.3.1 Velocidade de propagação do fogo.....	38
3.3.2 Intensidade do fogo.....	38
3.3.3 Calor liberado por unidade de área.....	38
3.3.4 Tempo de residência.....	39
3.3.5 Temperatura durante a passagem do fogo.....	39
3.4 TESTE DO PSICRÔMETRO VENTILADO.....	41
3.5 DADOS MICROMETEOROLÓGICOS.....	42
3.5.1 Determinação dos fluxos de energia.....	44
3.5.2 Determinação do albedo.....	45
3.5.3 Alteração microclimática em função da cobertura vegetal.....	45
3.6 EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE BRACATINGA.....	46
3.7 FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA REGENERAÇÃO.....	46

3.8 UMIDADE DO SOLO NO DIA DA QUEIMA.....	47
3.9 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE P, K Ca, Mg e valor do pH ANTES E APÓS A QUEIMA DE RESÍDUOS VEGETAIS.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 AVALIAÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	49
4.2 DESCRIÇÃO DA QUEIMA.....	53
4.3 TEMPERATURA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO.....	56
4.4 TEMPERATURA DO SOLO DURANTE A PASSAGEM DO FOGO.....	58
4.5 COMPARAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO SOLO NA ÁREA DESMATADA E EM ÁREA ADJACENTE COBERTA COM BRACATINGA.....	59
4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS FLUXOS DE CALOR NO SOLO NA ÁREA DESMATADA E EM ÁREA ADJACENTE COBERTA COM BRACATINGA.....	63
4.7 VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE BULBO SECO (T_s) E ÚMIDO (T_u) NAS ÁREAS DESMATADA E COBERTA COM BRACATINGA.....	65
4.8 VARIAÇÃO DA RADIAÇÃO GLOBAL E REFLETIDA NOS AMBIENTES DESMATADO E FLORESTADO COM BRACATINGA.....	71
4.9 RADIAÇÃO LÍQUIDA MEDIDA NAS ÁREAS DESMATADA E COM BRACATINGA.....	74
4.10 DETERMINAÇÃO DO ALBEDO NAS ÁREAS DESMATADA E FLORESTADA COM BRACATINGA.....	76
4.11 DETERMINAÇÃO DOS FLUXOS DE ENERGIA NA ÁREA ABERTA...	81
4.12 AVALIAÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURAL.....	91

4.13 AVALIAÇÃO DO ESTABELECIMENTO DE BRACATINGA APÓS QUEIMA DE RESÍDUOS FLORESTAIS.....	95
4.14 AVALIAÇÃO DO pH E DOS MACRONUTRIENTES P, K Ca e Mg ANTES E DEPOIS DA QUEIMA.....	98
5 CONCLUSÕES.....	104
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
7 ANEXOS.....	118

LISTA DE TABELAS

1 – Níveis de intensidade do fogo para queimas de média intensidade de um povoamento de <i>PinusElliotti</i>	17
2 – Quantidade de combustível, altura das chamas e temperaturas registradas por diferentes autores.....	20
3 – Quantidade de material combustível antes e depois da queima ($t.ha^{-1}$) e percentual médio queimado.....	49
4 – Peso da matéria seca, em $t.ha^{-1}$, do combustível por classe e total, após derrubada e retirada da lenha de bracatinga antes da queima.....	50
5 – Peso seco em estufa, em $t.ha^{-1}$, do material combustível por classe e total, após a queima, Colombo,PR.....	51
6 – Umidade média do material combustível (%), na hora da queima.....	52
7 – Espessura média da manta orgânica antes e após a queima (cm), por bloco e percentual médio queimado.....	53
8 – Média dos parâmetros do comportamento do fogo.....	54
9 – Amplitude térmica do solo ($^{\circ}C$) a 2,5; 5 e 10 cm de profundidade e suas médias entre agosto e outubro de 1998, em área desmatada e com bracatinga, Colombo, PR.....	62
10 – Fluxos de energia durante o dia 28/08/1998, na área desmatada.....	83
11 – Fluxos de energia durante o dia 30/08/1998, na área desmatada.....	85
12 – Quantidade de fluxo, em percentagem, em relação à radiação líquida recebida entre 27/08 e 03/09/1998.....	86
13 – Fluxos de energia durante o dia 04/10/1998, na área desmatada.....	87
14 – Fluxos de energia durante o dia 05/10/1998, na área desmatada.....	88
15 – Fluxos de energia durante o dia 31/10/1998, na área desmatada.....	90

16 – Lista de espécies e famílias encontradas, agrupadas por família, nas parcelas amostradas após aproximadamente 60 dias do corte raso da bracatinga (desmatada).....	92
17 – Regeneração da bracatinga após a queima dos resíduos (02 e 03/09/1998), em parcelas de 2 m ²	96

LISTA DE FIGURAS

1 – Mapa de localização da área em relação a Região Metropolitana de Curitiba, ao Paraná e ao Brasil	33
2 – Temperatura média mensal do ano de 1998 e das normais climatológicas de 1970-1997 (Pinhais, PR).....	34
3 – Precipitação média mensal do ano de 1998 e das normais climatológicas de 1970-1997 (Pinhais, PR).....	34
4 – Detalhe das medidas de temperaturas durante a queima. As setas indicam a posição dos termômetros sobre o solo.....	40
5 – Detalhe de um psicrômetro ventilado montado na torre, dentro do bracatingal.....	41
6 – Temperatura de queima, observada em três alturas, no dia 02/09/1998...	56
7 – Temperatura de queima, observada em três alturas, no dia 03/09/1998...	56
8 – Temperatura de queima a 2,5 cm de profundidade no solo no dia (dia 03/09/1998).....	58
9 – Temperaturas de solo em °C, obtidas antes e nos dias de queima, na torre 1 (área desmatada).....	60
10 – Temperaturas de solo em °C, obtidas antes e nos dias de queima, na torre 2 (área com bracatinga).....	60
11 – Fluxos de calor no solo a 2 e 10 cm de profundidade, na torre 1, em área desmatada, antes e nos dias de queima.....	63
12 – Fluxos de calor no solo a 2 e 10 cm de profundidade, na torre 2, em área de bracatinga, antes e nos dias de queima	64
13 – Temperaturas de bulbo seco (Ts) e úmido (Tu), obtidas na área desmatada, de 28/08 a 04/09 a três alturas: A – 2m, B – 4m, C – 6m.....	66
14 – Temperaturas de bulbos seco (Ts) e úmido (Tu), obtidas na área com bracatinga, em três alturas, de 03/10 a 09/10 a três alturas: A - 2m, B - 4m, C - 6m.....	67

15 – Temperaturas de bulbo seco (T_s) e úmido (T_u), obtidas na área com bracatinga, de 03/10 a 09/10 a três alturas: A – 2m, B – 4m, C – 6m...	69
16 – Temperaturas de bulbo seco (T_s) e úmido (T_u), obtidas na área desmatada, de 03 a 09/10 a três alturas: A – 2 m, B – 4 m, C – 6 m....	70
17 – Radiação global recebida ($W.m^{-2}$) na área desmatada.....	71
18 – Radiação global refletida ($W.m^{-2}$) na área desmatada.....	72
19 – Radiação global recebida ($W.m^{-2}$) na área com bracatinga.....	73
20 – Radiação global refletida ($W.m^{-2}$) na área com bracatinga.....	73
21 – Radiação líquida ($W.m^{-2}$) na área aberta.....	74
22 – Radiação líquida ($W.m^{-2}$) na área com bracatinga.....	75
23 – Albedo (r) medido na área aberta.....	76
24 – Albedo (r) medido na área aberta, entre 03 e 09/10/1998.....	78
25 – Albedo (r) medido na área aberta, entre 30/10 e 05/11/1998.....	79
26 – Albedo (r) medido na área com bracatinga nos períodos de 28/08 e 04/09 (A), 03 e 09/10 (B), 30/10 e 05/11/1998 (C).....	80
27 – Fluxos de radiação líquida, calor no solo, calor sensível e calor latente, entre os dias 28/08 e 04/09/1998.....	82
28 – Frequência relativa das espécies amostradas na área desmatada.....	93
29 – Cobertura relativa das espécies amostradas na área desmatada.....	94
30 – Famílias com maior número de espécies amostradas na área desmatada.....	95
31 – Evolução do pH no solo, por bloco, antes e depois da queima (02 e 03/09/1998).....	98

32 – Evolução do Al ⁺⁺⁺ no solo, por bloco, antes e depois da queima (02 e 03/09/1998).....	99
33 – Evolução do P no solo, por bloco, antes e depois da queima (02 e 03/09/1998).....	100
34 – Evolução do Mg (A) e do Ca (B) no solo, por bloco, antes e depois da queima (02 e 03/09/1998).....	101
35 – Evolução do K no solo, por bloco, antes e depois da queima (02 e 03/09/1998).....	102

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar algumas alterações ambientais, após o processo de queima, em um talhão do sistema agroflorestal tradicional de cultivo de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná. O estudo constituiu-se de: i) avaliação micrometeorológica de uma área florestada com bracatinga de aproximadamente 3 anos e uma área adjacente após a exploração da bracatinga, com idade de 7 anos; ii) quantificação dos resíduos vegetais na área explorada; iii) avaliação do comportamento do fogo; iv) análise dos macronutrientes antes e depois da queima dos resíduos vegetais; v) identificação das espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas regeneradas após o fogo e vi) regeneração da bracatinga após a queima. Os resultados indicaram uma quantidade média de material combustível ao redor de 24,87 t.ha⁻¹, sendo 4,2% de material verde; 39,9% de serapilheira; 12,3% de material lenhoso até 0,7 cm de diâmetro; 29,4% entre 0,71 e 2,5 cm; 14,1% entre 2,6 e 7,6 cm e 0,5% acima de 7,6 cm de diâmetro. Após a queima a quantidade de material combustível residual ficou em 8,5 t.ha⁻¹, sendo a maior fração correspondente à serapilheira (36,9%). Em média foram queimados 66,20% do material combustível. A intensidade média do fogo foi de 384,0 Kcal.m⁻¹.s⁻¹ e o calor liberado por unidade área atingiu 9367,9 Kcal.m⁻².s⁻¹. O tempo de residência médio do fogo foi de 12 segundos. A temperatura do ar a 1 cm do solo atingiu, durante a queima, um valor máximo de 600°C. Para alturas maiores (60 e 160 cm), os valores máximos foram de 287 e 94°C, respectivamente. As medidas de temperatura do solo mostraram que a 2,5 cm de profundidade houve elevação de 23 para 24°C, indicando que a queima não afetou a atividade biológica pela ação da temperatura. As medidas de amplitude térmica entre as áreas descoberta e com bracatinga mostraram uma diferença aproximada de 2°C, com maiores valores para a área aberta. Os fluxos de energia medidos na área aberta mostraram que, num dia ensolarado, 80,9% da energia recebida foi transformada em fluxo de calor latente (energia gasta para a evaporação), 11,6% foram usados para o fluxo de calor sensível (energia gasta para o aquecimento do ar) e 7,4% foram para o fluxo de calor no solo (aquecimento do solo). A razão de Bowen média para este dia ficou em 0,48. As análises de nutrientes do solo após a queima evidenciaram um acréscimo no pH, P, Mg, Ca, K e um conseqüente decréscimo do Al⁺⁺⁺, situação que tendeu voltar ao normal 3,5 meses após a queima. Das 32 espécies vegetais que se instalaram após a queima dos resíduos, 14 eram herbáceas e 18 arbustivas e/ou arbóreas. As de maior frequência foram *Panicum sabulorum*, *Cyperus hermaphroditus* e *Imperata brasiliensis*. Dentre as arbóreas e/ou arbustivas, além da *Mimosa scabrella*, foram observadas *Solanum megalochiton*, *Palicourea* sp e *Psycotria* sp. A análise da regeneração da bracatinga mostrou que a maior emergência das plântulas ocorreu 15 dias após a queima, caindo significativamente aos 30 dias e reduzindo-se a praticamente zero aos 115 dias.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the environmental effects of a controlled burn in a traditional system of *bracatinga* (*Mimosa scabrella* Benth.) management in the Metropolitan Area of Curitiba, Paraná. The study included: i) micrometeorological measurements in the area covered with *bracatinga* forest approximately 3 year-old and an adjacent area where a 7 year-old *bracatinga* stand was clearcut; ii) quantification of the residues (fuel load) in the exploited area; iii) estimation of the fire behavior variables during the burns; iv) analysis of the macronutrients before and after the burns; v) identification of the vegetation regenerated after the fire; and vi) evaluation of the *bracatinga* regeneration after the fire. Results showed that the total fuel load was approximately 24,87 t.ha⁻¹, being 4,2% of green material; 39,9% of litter; 12,3% of woody material up to 0,7cm of diameter; 29,4% between 0,71 and 2,5cm; 14,1% between 2,6 and 7,6cm and 0,5% above 7,6cm of diameter. After the burns the residual fuel load was about 8,5 t.ha⁻¹. On the average, 66,2% of the total fuel was consumed by the fire. The average fire intensity was 384,0 Kcal.m⁻¹.s⁻¹ and the heat released by unit of area reached 9367,9 Kcal.m⁻². The temperature in the burning zone reached a maximum value of 600°C at 1 cm above ground; at 60 and 160 cm high the maximum values were of 287 and 94°C, respectively. Measurements of soil temperatures showed an increase from 23 to 24°C at 2,5cm of depth, indicating that the fire didn't affect the biological activity by the elevation of the temperature. Air temperatures measured after the fire showed a 2°C difference between the forested and the clearcut areas, with larger values for the clearcut area. Energy flows measured in the clearcut area showed that in a sunny day about 80,9% of the received energy were transformed in latent heat of vaporization, 11,6% were used in the sensible heat flux, and 7,4% were used in the soil heat flux. The Bowen ratio for that same day was 0,48. The analysis of soil nutrients after the fire showed an increment in the levels pH, and mineralized P, Mg, Ca, and K, and a consequent decrease in the Al⁺⁺, situation that tended to return to the pre-burning levels after 3,5 months. From the 32 species regenerated after the fire, 14 were herbaceous and 18 shrubby and/or arboreal. The species with higher frequencies were *Panicum sabulorum*, *Cyperus hermaphroditus* and *Imperata brasiliensis*. Among the arboreals, besides the *Mimosa scabrella*, were also observed *Solanum megalochiton*, *Palicourea* sp and *Psycotria* sp. The analysis of the *bracatinga* regeneration showed that the maximum germination occurred into the 15 days after the fire, decreasing significantly after 30 days, and being reduced to practically zero after 115 days.

1 INTRODUÇÃO

Existem aproximadamente 6 milhões de hectares de povoamentos florestais implantados no Brasil, predominando os plantios com espécies exóticas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Pouco se tem reflorestado com espécies nativas mas entre estas, a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) ocupa, somente em torno da Região Metropolitana de Curitiba, uma área aproximada de 85.000 ha manejada sob o sistema agroflorestal.

Este sistema se caracteriza pelo plantio ou sementeira da bracatinga, seguido do corte para extração da lenha após cada ciclo, queima dos resíduos e o plantio de cultivos agrícolas anuais, quando simultaneamente se inicia um novo processo de regeneração da espécie florestal. A utilização da madeira que tradicionalmente se destinava para lenha, ultimamente tem sido usada para a construção civil, envaramento de cultivos hortícolas, bem como para fabricação de móveis.

O processo de valorização das terras em decorrência da redução das áreas disponíveis trouxe como consequência uma diminuição do pousio, além do fato de que a exploração dessas áreas sem a possibilidade de mecanização, em função da topografia, induziu a uma exploração com períodos mais curtos, em ciclos de 6 a 8 anos, além de aumentar a sua concentração.

A agricultura itinerante que predominava foi substituída por esse sistema, dentro de propriedades de médio porte, 20 ha ou mais, onde pequenas áreas são exploradas paulatinamente. Assim, a renda do corte da bracatinga alia-se à da colheita do milho e do feijão ou eventualmente mais alguma olerícola como abóbora, pepino e pimentão, proporcionando uma continuidade de renda ao longo dos anos.

O baixo rendimento das culturas propiciado por esse sistema é compensado pela pequena ou nula aplicação de insumos, resultando num custo apenas da mão-de-obra, que geralmente é familiar.

Ao final de cada ciclo é feita uma roçada para limpeza e facilidade do corte da bracatinga, quando então se inicia o processo de derrubada da espécie.

Após o corte, transporte e estaleiramento da lenha é procedida, de forma controlada, a queima dos resíduos, geralmente de agosto a novembro. O fogo, ateadado com pontas de taquara em chamas, é distribuído ao longo da área a ser queimada, tendo a direção do vento como fonte principal de impulsionamento da chama.

Como a distribuição dos resíduos orgânicos nem sempre é uniforme sobre a área, com concentração de ramos e galhos em alguns pontos, há locais em que a chama atinge mais de 2 metros de comprimento por breves momentos. Com isto, alguns locais ficam mais queimados, todos porém mantendo ainda uma camada orgânica não queimada com maior concentração de umidade.

Os objetivos da queima controlada - limpar o local dos excessos de matéria orgânica acumulada e quebrar a dormência das sementes de bracatinga que se encontram nos primeiros centímetros do solo - são muitas vezes contestados. Os argumentos contrários são a queima da matéria orgânica, os danos à fauna silvestre e a degradação da atividade biológica do solo. Os favoráveis mostram a eficiência do sistema, com fogo rápido e liberação de nutrientes mineralizados, repetindo assim o ciclo agroflorestal.

Antes de qualquer questionamento torna-se necessário conhecer o comportamento do fogo e os possíveis efeitos que este procedimento acarreta no ambiente. Isto só é possível com o conhecimento de variáveis ou efeitos tais como:

i) material combustível total e residual; ii) temperaturas do solo e do perfil acima dele, no momento da passagem do fogo; iii) tempo de residência do fogo; iv) efeitos do fogo sobre os nutrientes; v) efeitos sobre o ambiente.

O objetivo principal desse trabalho foi fazer uma avaliação global do efeito do fogo no manejo da bracatinga. Para isto foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- quantificar a redução de biomassa pelo processo de queima;
- analisar os efeitos do fogo sobre a temperatura do ar e do solo;
- avaliar os efeitos do pós-fogo sobre as variáveis micrometeorológicas;
- determinar a quantidade residual de macronutrientes e sua variação subsequente à queima;

- comparar as variáveis meteorológicas no ambiente alterado pelo fogo e em área de bracinga adjacente;
- determinar as espécies vegetais que se regeneram após a queima;
- avaliar a regeneração da bracinga.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BRACATINGA

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) é uma espécie da família *Fabaceae*, sub-família *Mimoisideae*, tendo muitos nomes vulgares como abraacatinga, paracaatinga, bracatinga-vermelha, bracatinga-argentina e bracatinho. KLEIN (1962) se refere à espécie como bracaatinga, conforme cita REITZ (1979). O nome comum “bracatinga” tem origem indígena, cuja etimologia, conforme HOEHNE (1930), tem o seguinte significado: aba = árvore ou mata; ra = penas ou plumas; caa = árvore ou mata; tinga = branco. Portanto, em guarani, “abaracaatinga” quer dizer a árvore ou mata de muitas plumas brancas (EMBRAPA, 1988).

Segundo LORENZI (1992), a bracatinga “é uma planta semidecídua, heliófila, pioneira e bastante indiferente quanto às condições físicas do solo. É característica e exclusiva das matas de pinhais, principalmente de associações secundárias, onde chega frequentemente a formar grupamentos puros”. Entretanto, a característica semidecídua não foi observada na prática. Quanto à indiferença das condições físicas isto somente é verdade em solos bem drenados.

A bracatinga é uma árvore com altura média de 10 m, cerca de 30 a 40 cm de DAP e que fornece madeira de densidade $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$, dura ao corte, medianamente resistente, mas de baixa durabilidade sob condições adversas. As folhas são compostas, com 4 a 14 pares de pinas opostas de 3 a 6 cm de comprimento e possuem folíolos em número de 15 a 30 pares por pina. Floresce durante longo período do ano, com maior intensidade entre os meses de junho e agosto. Os frutos amadurecem principalmente de novembro a janeiro (EMBRAPA, 1988).

Sua ocorrência se dá em áreas descontínuas, desde as partes altas, acima de 900 m, dos estados de Minas Gerais e São Paulo (cujo limite é $21^{\circ} 30' \text{ S}$), até os planaltos do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Geralmente a concentração da bracatinga se encontra dentro da área de distribuição geográfica da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. (MATTOS e MATTOS, 1980). Pode-se afirmar que as

latitudes 23° 50' S e 29° 40' S e longitudes 48° 60' W e 53° 60' W são os seus limites de máxima concentração, onde ela se desenvolve em altitudes preferencialmente acima de 700 m, muito embora possa ser encontrada até altitudes de 350 m, restrita ao Alto Vale do Rio Itajaí.

A espécie habita um clima preferencialmente do tipo Cfb, pelo sistema de Köppen, isto é, temperado chuvoso, constantemente úmido, com temperaturas médias do mês mais quente < 22°C e do mês mais frio < 18°C (IAPAR, 1994).

2.2 EXPLORAÇÃO DA BRACATINGA

As florestas com bracatinga representam uma área de 60.000 ha somente na Região Metropolitana de Curitiba, sendo uma importante fonte de renda para cerca de 3.000 proprietários rurais (LAURENT *et al.* 1990). O sistema tradicional da bracatinga é praticado em propriedades agrícolas, sendo que a sua produção tem, portanto, um nicho técnico e sócio-econômico definido, afastado dos reflorestamentos homogêneos, contínuos e extensos (EMBRAPA, 1988). Segundo BAGGIO *et al.* (1986), 75% das propriedades usam consórcio no primeiro ano de floresta e 90% não praticam desbaste após o primeiro ano, deixando a floresta em competição natural. Geralmente junto à produção de lenha, carvão e estacas para construção está associada a produção de mel, milho e feijão, principalmente. Por ocasião da primeira implantação do bracatingal, as sementes são tratadas com água quente (2 a 3 minutos) e deixadas de molho à noite, sendo semeadas entre 4-6 sementes/cova, ou espalhadas a lanço na área. O raleio é feito quando as mudas atingem 5 a 10 cm, deixando-se 1 muda por cova, o que dará um espaçamento desde 1 x 1 até 3 x 1 m.

Após o corte é prática usual a queima dos resíduos da exploração. Isto provoca a quebra de dormência das sementes acumuladas em diferentes camadas do solo e a conseqüente regeneração natural da floresta. As sementes superficiais são queimadas mas a germinação é satisfatória para aquelas enterradas até 6 cm de profundidade (CARNEIRO *et al.* 1980).

Desde que a queima seja um “fogo rápido” sobre o solo úmido, irá propiciar uma regeneração abundante e uniforme do bracatingal que se formará (BITTENCOURT, 1990). Este procedimento de limpeza do terreno, após o corte e retirada da bracatinga, implica numa tomada de decisão (empírica) pelos agricultores, baseada somente nas observações das condições locais e da meteorologia de um modo genérico, para estabelecer o dia da queima.

Ainda de acordo com os agricultores, os ventos do quadrante norte são os mais quentes e que propiciam uma queima mais uniforme. Segundo observações de 10 anos, esses ventos predominam em mais de 45% dos dias nos meses de agosto, setembro e outubro, sendo N e NW acima de 25% (WAGNER *et al.* 1989).

A possibilidade da brotação e germinação das plantas, criando uma massa foliar verde, que diminui a eficiência da queima, preocupa os proprietários rurais que muitas vezes antecipam-na, mesmo que a massa orgânica morta esteja com umidade acima do ideal.

Apesar de ser uma prática tradicional, a queima dos resíduos orgânicos pode induzir a uma piora da qualidade dos sítios, gerando problemas ambientais, como relatam BAGGIO e CARPANEZZI (1995). Os autores mostraram que a lenha abandonada representou 24% do peso total dos resíduos florestais, os galhos 37% do total e que poderiam ser aproveitados em parte para uma produção de varas, lenha fina e cabos de ferramentas.

2.3 REGENERAÇÃO DA BRACATINGA E FORMAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES FLORESTAIS

Embora possua sementes com tegumento impermeável a água (LORENZI, 1992) e que portanto apresentam dormência, o processo de queima do terreno, após corte e retirada da floresta anterior, faz com que se supere a dormência de muitas sementes, estabelecendo-se um novo bracatingal.

A literatura é escassa com relação ao banco de sementes de bracatinga. CARNEIRO *et al.* (1982) analisaram quantidades de sementes em amostras de solo com profundidades de até 8 cm. As sementes, após extraídas por peneiramento, foram

postas a germinar, sem tratamento para superar a dormência. O autor obteve em média 88 sementes viáveis por metro quadrado, sendo 38 entre 4 a 8 cm de profundidade.

ROTH (1982) verificou a mortalidade das sementes a várias profundidades no solo, em um incêndio simulado. As sementes localizadas a 2 cm de profundidade morreram em decorrência de temperaturas superiores a 100°C. As sementes das camadas inferiores tiveram um índice de germinação próximos entre si, em função das temperaturas máximas de 80°C (entre as camadas de 2 a 4 cm) a 38°C (entre as camadas de 6 a 8 cm).

CARPANEZZI *et al.* (1997) avaliaram talhões entre 2 dias e 143 meses após a queima dos resíduos de exploração florestal e que corresponde ao início de cada rotação. Os autores encontraram de 90 a 190 sementes viáveis por metro quadrado, sendo que cerca de 10% estavam entre 3 e 10 cm de profundidade. A emergência das plantinhas ocorreu concentradamente nos 30 primeiros dias, atingindo valores médios de 62 e 79 plantas por metro quadrado, representando 14 a 65% do número de sementes existentes no banco antes da queima. A taxa de mortalidade de sementes pelo fogo diminui rapidamente com a profundidade de enterramento das sementes de bracatinga.

A bracatinga, no sistema tradicional de cultivo, embora reduza a formação de um sub-bosque jovem a cada ciclo de 6 a 8 anos, permite ainda assim que um significativo número de espécies ressurgam, sendo muitas da vegetação pioneira do estágio secundário.

Poucos trabalhos botânicos, como os de KLEIN (1962), MAACK (1981) e CARVALHO (1981) se reportam a esse agro-ecossistema, embora este esteja estabelecido na Região Metropolitana de Curitiba há cerca de 90 anos.

KLEIN (1962) se refere ao denso grupamento de ervas e arbustos que acompanham o primeiro ano de crescimento da bracatinga, predominando a tupixaba branca (*Baccharis* sp) e tupixaba preta (*Symphyopappus* sp), aroeira (*Schinus terebinthifolius*), uvarana (*Cordyline dracaenoides*), pico-pico-de-vara (*Tagetes minuta*), picão (*Bidens pilosa*), samambaia (*Pteridium aquilinum*) e capim-sapé (*Imperata brasiliensis*).

Após o desbaste de plantas invasoras e com a implantação dos cultivos, na sucessão das espécies, aparecem capororoca (*Rapanea* sp), miguel-pintado (*Cupania vernalis*), camboatã (*Matayba elaeagnoides*), canela-sebo (*Ocotea puberula*), bugreiro ou cafezeiro-do-mato (*Casearia sylvestris*) e um arbusto *Maytenus*.

Mais recentemente, BAGGIO *et al.* (1995) efetuaram levantamento botânico em sub-bosque de bracatingais nos municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul, em altitudes próximas de 900m. A região é de relevo fortemente ondulado, onde predominam os Cambisolos pobres em nutrientes e ácidos. Para os autores, o uso passado da terra, as condições ambientais específicas e a vizinhança de florestas naturais parecem ser os principais fatores determinantes das diferentes fitossociologias encontradas entre sítios relativamente próximos. O estabelecimento das espécies nos sub-bosques ocorre pela brotação de tocos oriundos da floresta original e de sementes introduzidas pelos agentes naturais de dispersão. Foram levantadas 82 espécies lenhosas, distribuídas entre 34 famílias botânicas.

2.4 O FOGO COMO AGENTE DE LIMPEZA E RENOVAÇÃO DAS ESPÉCIES

Geralmente as queimas controladas não oferecem riscos ambientais importantes. Porém, quando há perda de controle, pode haver grandes prejuízos ambientais e econômicos com conseqüências incalculáveis, como a ocorrida no Paraná em 1963 (SOARES, 1977).

Ecologicamente, o fogo tem sido uma força natural que afeta as comunidades florestais, áreas de gramíneas e áreas úmidas, muito antes do homem aparecer em cena. Todos os seres vivos respondem a certas leis biológicas e ecológicas, ou princípios que envolvem a necessidade de troca, continuidade, evolução, companheirismo, diversidade, sucessão, competição e reciclagem do material residual (KOMAREK, 1971).

O fogo, assim como outros fatores de distúrbio, tais como desflorestamento e alteração hídrica, deve ser melhor estudado para se compreender os componentes do processo e seus efeitos como base de entendimento de como as florestas podem ser

manejadas e utilizadas como uma fonte renovável de recurso, preservando a biodiversidade. A literatura se baseia nas hipóteses de que: i) o distúrbio ou alteração de uma floresta é a maior força moldadora do seu desenvolvimento, estrutura e função; ii) o manejo das florestas, para dar todos os seus benefícios, pode estar contido dentro daqueles resultantes de distúrbios naturais (ATTIWILL, 1994).

É difícil caracterizar formalmente que tipo de distúrbio houve numa floresta, pois vários são os fatores: vento, fogo, ataque de insetos, quedas de árvores ou ainda a dinâmica do sistema, que pode ser a sucessão natural das plantas ou a vegetação clímax.

O fogo pode ser compreendido como um importante agente de distúrbio, influenciando a composição e estrutura dos ecossistemas. Para alguns biomas, pode ter consequências catastróficas, alterando completamente o meio, enquanto em outros pode ter múltiplos e diversificados efeitos ecológicos, mantendo o equilíbrio biodinâmico das espécies.

2.5 QUEIMA CONTROLADA

A queima controlada pode ser definida como sendo a aplicação prescrita do fogo em materiais combustíveis, tanto no estado natural como alterado, sob determinadas condições meteorológicas, de umidade do material combustível, de umidade do solo, entre outros, de tal forma que o mesmo seja confinado a uma área pré-determinada e produza a intensidade de calor e a taxa de propagação necessária para favorecer certos objetivos do manejo (WADE e LUNSFORD, 1989).

Segundo SOARES (1979), a queima controlada parece ser uma das melhores soluções para o problema de acúmulo de material combustível em povoamentos de pinus, cuja maioria das espécies são resistentes ao fogo de baixa intensidade. Por ser uma técnica relativamente barata, sua aplicação poderia representar grande economia nos custos de proteção contra incêndios florestais.

De acordo com BAGGIO e CARPANEZZI (1995), em *bracatingais* da Região Metropolitana de Curitiba, o acúmulo de material combustível pode chegar a $41\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, ao fim de um ciclo do sistema, entre 6 e 8 anos.

A queima controlada tem sido utilizada como forma de se manter a camada de serapilheira a um nível tal que um eventual incêndio não tenha condições de atingir proporções catastróficas.

Vários trabalhos fazem referência ao fogo controlado e seus efeitos sobre os ecossistemas. Para TATONI *et al.* (1994), a vegetação secundária da região do Mediterrâneo necessitou de uma incorporação do fogo como principal componente na manutenção da flora, principalmente em áreas abertas. Sem outro tipo de distúrbio, essas áreas abertas seriam rapidamente recolonizadas pela vegetação florestal.

Dependendo da época da queima, há influência direta sobre a brotação, como demonstrou RIBEIRO e SOARES (1996) em um reflorestamento de *Eucalyptus viminalis*

BATISTA (1996) mostrou que em um reflorestamento de *Pinus taeda* o fogo consumiu $3,84\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de material combustível, sendo 31% do material superficial com diâmetro menor que 2,5 cm.

VEGA (1996) aconselha usar o fogo controlado em faixas a favor do vento, por:

- aquecer menos o solo, além de ser mais rápido;
- ter as temperaturas da serapilheira mais moderadas, reguladas pelo grau de umidade desta;
- reduzir-se grandemente a quantidade de combustível.

Segundo o autor, há uma tendência de alguns países europeus em estimular o fogo controlado como forma de reduzir o perigo real de incêndios de grandes proporções.

Já COUTINHO (1996) conclui que as pesquisas do efeito do fogo sobre a fauna do Cerrado são ainda insuficientes, embora concorde que o manejo adequado do fogo seja um meio de se preservar este ambiente.

2.6 QUEIMA CONTROLADA EM BRACATINGAIS

2.6.1 TAMANHO DA ÁREA

Nos florestamentos e reflorestamentos com bracatinga na região metropolitana de Curitiba, a topografia e o tamanho das áreas não permitem queimas de grandes proporções. Geralmente as áreas de queima não excedem a 6 ha (CARPANEZZI *et al.* 1997), o que permite um certo controle sobre o fogo, mesmo porque, como é feito dentro de outras áreas com reflorestamento de bracatinga, seria desastroso um alastramento das chamas fora dos limites da queimada. Além de circundada por florestas, é comum o estaleiramento da lenha, que ainda não foi retirada do local e fica à beira das estradas de acesso à área. Assim, o fogo é ateado nas bordas da área, semelhante a um dos tipos de queima controlada denominada de queima central ou em anel (BROWN e DAVIS, 1973), iniciando-se com a queima contra o vento e terminando-se a favor do vento.

2.6.2 CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE QUEIMA

Normalmente, após o corte raso dos bracatingais e enleiramento da lenha (que se inicia em abril), é feito o preparo do terreno para a queima. Se o inverno é chuvoso, com intensa brotação de herbáceas e espécies florestais, faz-se uma roçada para a diminuição da massa verde. A queima se processa entre o final do inverno e início da primavera (BITTENCOURT, 1990), iniciando-se no final de agosto e estendendo-se até meados de novembro, concentrando-se principalmente nos meses de setembro e outubro, quando as condições de elevação da temperatura e alguns dias de estiagem permitem a queima.

BROWN e DAVIS (1973) recomendam a queima no hemisfério norte, entre dezembro e março, em condições de 1 a 3 dias sem chuva e com ventos da direção norte entre 4,8 a 16 km por hora, como sendo as melhores. Há uma certa semelhança com as condições da região estudada, pois a correspondência seria julho a setembro,

com alguns dias de estiagem e os ventos dentro deste limite de velocidade. Porém, como não há estação seca definida - clima Cfb, segundo IAPAR (1994), os ventos quentes do quadrante Norte são os desejados.

2.6.3 MATERIAL COMBUSTÍVEL

O material combustível florestal pode ser definido como qualquer material orgânico vivo ou morto, no solo ou acima dele, capaz de entrar em ignição e queimar (SCHROEDER e BUCK, 1970; SOARES, 1985). BROWN e DAVIS (1973) classificam os combustíveis florestais em três grupos, de acordo com sua distribuição vertical: combustíveis de solo, superficiais e aéreos. Os combustíveis de solo são aqueles que se encontram abaixo da superfície, como raízes, húmus, tocos em decomposição e turfa. Os combustíveis superficiais são os que se encontram sobre o piso da floresta, como folhas, ramos, galhos, casca, frutos e flores que ainda não foram totalmente decompostos. As herbáceas e pequenos arbustos com altura até 1,80 m são incluídos nesta categoria. Os combustíveis aéreos são os materiais localizados no sub-bosque e na parte superior das copas das árvores e que estão acima de 1,80 m do piso da floresta, constituindo-se de ramos e folhas das árvores e dos arbustos, galhos secos presos às árvores, musgos, líquens e outras plantas epífitas.

SOARES (1985) classifica os combustíveis de acordo com a sua periculosidade, em perigosos, semi-perigosos e verdes: Os combustíveis perigosos são os galhos e ramos pequenos, com diâmetro menor que 1 cm, folhas, líquens, musgos e herbáceas, todos em estado seco. Estes materiais, por perderem a umidade rapidamente, apresentam menor temperatura de ignição e por isso facilitam o início do fogo e aceleram a propagação, queimando rapidamente; Os semi-perigosos são os materiais geralmente lenhosos como troncos caídos, tocos, galhos e ramos com diâmetro acima de 1 cm, incluindo-se o húmus e a turfa. Estes materiais mais grossos ou compactados queimam mais lentamente, apresentando ignição lenta e difícil, mas uma vez inflamados, desenvolvem intenso calor; Os materiais verdes são constituídos pela vegetação viva existente na floresta. Como possuem alto teor de umidade, muitas

vezes não são considerados materiais inflamáveis. O calor liberado pelos outros combustíveis pode, no entanto, secar esses combustíveis tornando-os inflamáveis.

WRIGHT e BAILEY (1982) afirmam que a temperatura da queima está diretamente relacionada a quantidade de material combustível. Os autores citam STINSON e WRIGHT (1969), que informam que para uma quantidade de combustível variando de 1.680 a 7.800 kg.ha⁻¹ a temperatura superficial do solo com gramíneas variou de 102 a 388°C. Contudo, podem existir temperaturas mais altas para a mesma quantidade de combustível, podendo estar associadas à forma de disposição da serapilheira ou a intensos ventos criados pelo fogo.

Para LANGDON (1971), o fogo prescrito ou controlado é um potente método silvicultural para o controle da composição da vegetação para muitas espécies produtoras de madeira na costa leste dos Estados Unidos da América. Os *Pinus*, sendo subclímax na escala de sucessão, assim como outras espécies, dependem do fogo periódico para o seu ciclo de vida. O autor comenta ainda sobre a hipótese de que as comunidades dependentes do fogo queimam muito mais prontamente do que as não dependentes, porque há uma seleção natural que favorece o desenvolvimento de características que as fazem mais inflamáveis.

2.6.4 COMPORTAMENTO DO FOGO

Segundo SOARES (1985), "comportamento do fogo é um termo geral usado para indicar o que o fogo faz, ou seja, para descrever as principais características de um incêndio florestal".

De acordo com UHL *et al.* (1990), o fato de determinado tipo de vegetação ter uma grande quantidade de material combustível não significa necessariamente que o local em que se encontra tenha maior propensão ao fogo. "O conteúdo de umidade do material combustível é resultado de interações complexas entre as características desse material e os fatores climáticos, entre eles o comportamento pluviométrico da região, os índices de temperatura, o déficit de pressão de vapor d'água e as características do vento". Portanto, o comportamento do fogo está diretamente ligado às condições

micrometeorológicas que envolvem o material combustível, podendo tornar mais fácil a sua combustão e o conseqüente desenvolvimento e propagação das chamas.

2.6.4.1 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO

A velocidade de propagação do fogo ou taxa de propagação do fogo é o termo usado para descrever a taxa segundo a qual o fogo aumenta tanto em área como linearmente (SOARES, 1985).

Existem modelos matemáticos para se estimar a velocidade de propagação do fogo (ROTHERMEL, 1972; TRABAUD, 1979), porém esta medida pode ser obtida diretamente em qualquer incêndio. Cronometrando-se o tempo que o fogo leva para percorrer uma distância pré-estabelecida, estima-se facilmente a velocidade de propagação de um incêndio.

Apesar de ser um parâmetro fácil de ser medido, a velocidade de propagação do fogo é muito variável de incêndio para incêndio e dá idéia dos limites de velocidade que o fogo pode atingir.

BROWN e DAVIS (1973) afirmam que a maioria das queimadas contra o vento se propaga a uma velocidade de 0,009 a 0,018 m.s⁻¹.

SOARES (1979) mediu velocidades médias de propagação do fogo de 0,033 m.s⁻¹ e 0,042 m.s⁻¹ em queimas controladas de *Pinus caribea* e *Pinus oocarpa* respectivamente.

BATISTA (1996) encontrou valores variando de 0,0046 a 0,0057 m.s⁻¹ em queima controlada contra o vento num reflorestamento de *Pinus taeda*, no norte do Paraná. Em queimas a favor do vento, os valores variaram de 0,0080 a 0,0107 m.s⁻¹.

RIBEIRO (1997) determinou velocidade de propagação do fogo em *Eucalyptus viminalis*. Na queima contra o vento a velocidade atingiu 0,0131 m.s⁻¹ e a favor do vento, os valores variaram de 0,0468 a 0,0486 m.s⁻¹.

2.6.4.2 INTENSIDADE DO FOGO

A intensidade do fogo é um parâmetro muito útil para se comparar incêndios florestais e conforme alguns autores (BROWN e DAVIS, 1973; SOARES, 1985) tem mais significado se estiver associada a características específicas do incêndio, como, por exemplo, velocidade de propagação e dano produzido.

De acordo com McARTHUR e CHENEY (1966), o conceito relativo à energia ou intensidade do fogo desenvolvido por BYRAM (1959), é uma das mais completas descrições de uma queima e tem grande significado em termos de danos que o fogo pode causar sob condições específicas.

Segundo SOARES (1985), a intensidade do fogo é a taxa de energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente de fogo. Numericamente, é igual ao produto da quantidade de combustível disponível pelo seu calor de combustão e pela velocidade de propagação do fogo, como mostra a equação de BYRAM:

$$I = H.w.r$$

onde

I = intensidade do fogo, em $\text{Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$;

H = calor de combustão, em Kcal.kg^{-1} ;

w = peso do combustível disponível, em kg.m^{-2} ;

r = velocidade de propagação do fogo, em m.s^{-1} .

O calor de combustão (H) do material combustível é a energia que mantém a reação de combustão. Pode ser definida como sendo a quantidade de calor (em Kcal) liberado na combustão de 1kg de material combustível (BATISTA, 1995).

A quantidade do material combustível (w) disponível é medida diretamente no campo.

A velocidade de propagação do fogo (r) é a distância percorrida pelo fogo num determinado período de tempo, podendo ser medida diretamente no campo ou estimada através de modelos matemáticos (TRABAUD, 1979; BURGAN e ROTHERMEL, 1984, citados por SOARES, 1985). Ela varia de $0,005 \text{ m.s}^{-1}$ a $0,01 \text{ m.s}^{-1}$ numa queima controlada, chegando a 5 m.s^{-1} num incêndio de grandes proporções.

A intensidade do fogo, calculada através da equação de BYRAM (1959), tem demonstrado ser um parâmetro muito útil na descrição do comportamento do fogo, além de servir como um índice de referência para se visualizar e comparar as taxas de energia liberadas por diferentes incêndios.

Em um incêndio florestal, a intensidade pode variar de 4 até cerca de 25.000 $\text{Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$. Entretanto, até $82 \text{ Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, pouco dano é causado às árvores, embora algumas modificações ecológicas possam ocorrer. Entre 83 e $413 \text{ Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, alguns danos podem ser causados às árvores de *Eucalyptus* e *Pinus*, chegando à morte das espécies mais sensíveis (Mc ARTHUR e CHENEY, 1966).

Os danos físicos causados às árvores são muito variáveis, dependendo do nível de tolerância que cada espécie possui ao calor. Enquanto um sub-bosque de uma floresta pode morrer após um incêndio ou queima controlada, a maior parte pode sobreviver por meio de estímulo à regeneração ou a quebra de dormência de sementes, como é o caso da bracatinga.

MIRANDA *et al.* (1996) registraram velocidade da frente de fogo da ordem de 0,13; 0,42; 0,15 e $0,64 \text{ m.s}^{-1}$ em 4 queimas diferentes de cerrado. A intensidade da frente de fogo foi de 1.390; 5.889; 1.256 e $8.134 \text{ KJ.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ (332; 1.407; 300 e $1.943 \text{ Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, respectivamente).

WADE (1986), citado por DE RONDE *et al.* (1990), descreve níveis de intensidade associados com o comportamento do fogo para auxiliar os planos de prescrição de queima em povoamento de *Pinus elliottii* (Tabela 1).

TABELA 1. NÍVEIS DE INTENSIDADE DO FOGO PARA QUEIMAS DE MÉDIA INTENSIDADE EM POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii*.

INTENSIDADE Kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹	DESCRIÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO
<17	Intensidade muito baixa. Comprimento das chamas menor do que 0,3 m. Queima muito superficial. Sem crestamento.
17 - 60	Ótima variação. Comprimento das chamas de 0,3 a 0,9 m. Altura de crestamento geralmente menor do que 4,5 m. Poucas chances do fogo ultrapassar as linhas de controle.
61 - 100	Muito quente para povoamentos jovens. Comprimento das chamas de 0,9 a 1,1 m. Altura de crestamento entre 4,5 a 9 m. A linha de controle deve ser alargada com a queima contra o vento antes de iniciar a queima da área para prevenir dificuldades de controle do fogo.
101 - 165	Limite máximo de intensidade de queima. Comprimento das chamas geralmente abaixo de 1,7 m. Altura de crestamento pode ser excessiva mesmo com o vento constante. Deve-se ter equipamento mecanizado de controle de fogo preparado.

2.6.4.3 CALOR LIBERADO POR UNIDADE DE ÁREA

O calor liberado por unidade de área pode ser calculado através da intensidade do fogo e da velocidade de propagação, como mostra SOARES (1985):

$$H_a = \frac{I}{r}$$

onde:

H_a - calor liberado por unidade de área, em Kcal.m⁻²;

I- intensidade do fogo, em Kcal. m⁻¹.s⁻¹;

r - velocidade de propagação do fogo, em m. s⁻¹.

Para intensidade constante, quanto maior a variação de r , menor é a quantidade de calor liberado por unidade de área. Por outro lado se r é constante, quanto maior a variação de I , maior será a quantidade de calor liberado por área.

2.6.4.4 TEMPO DE RESIDÊNCIA

O tempo de residência é o tempo que leva uma frente de fogo para passar por um determinado ponto. É a duração da combustão sobre uma determinada área. Tem um efeito muito importante em relação aos danos à vegetação viva e à profundidade de penetração do calor no solo (McARTHUR e CHENEY, 1966).

Uma estimativa do tempo de residência é através da velocidade de propagação do fogo e da profundidade da chama como ROTHERMEL e DEEMING (1980) recomendam:

$$T_r = \frac{p}{r}, \text{ onde:}$$

T_r - tempo de residência, em s;

p - profundidade da chama, em m;

r - velocidade de propagação do fogo, em m.s^{-1} .

Uma estimativa do tempo de residência pode ser feita também com base no tamanho médio das partículas de combustível. Segundo esta relação o tempo de residência em minutos, é igual a 3,15 vezes o tamanho (diâmetro médio) das partículas em centímetros (SOARES, 1985; BATISTA, 1995).

2.6.4.5 TEMPERATURA DA QUEIMA

As células vivas resistem à elevação da temperatura até um nível crítico, acima do qual os tecidos vivos não conseguem sobreviver.

SOARES (1985) relatou que vários estudos indicaram que as temperaturas acima de 54°C induziram à morte dos tecidos vegetais. Segundo NELSON (1952), citado por SOARES (1985), a morte das folhas de *Pinus elliottii*, *P. palustris*, *P. rigida* e *P. taeda* ocorreu à temperatura de 54°C após 6 minutos de exposição; a 60°C, após meio minuto e a 65°C, foi quase instantânea.

Com relação ao câmbio, KAYLL (1963), citado por SOARES (1985), mostrou que as temperaturas de 60°C durante 2 a 4 minutos ou 65°C em menos de dois minutos foram letais. Isto mostra que os tecidos vivos tem, em diferentes espécies, comportamento semelhante de resistência ao calor e que, além da temperatura, o tempo de exposição é importante. Quanto maior a temperatura, menor o tempo de exposição necessário para provocar a morte dos tecidos vivos das plantas.

De acordo com WRIGHT e BAILEY (1982), durante a queima, a temperatura logo acima da superfície (6 a 15 cm) aumenta rapidamente, podendo atingir o dobro da superfície, 0,2 a 0,5 ou até 3 vezes mais. Em áreas de campo, podem ser atingidas temperaturas da ordem de 800°C, quando o combustível excede 0,78 kg.m⁻². TRABAUD (1979) afirma que esta elevação de temperatura depende da quantidade de combustível e da velocidade do vento. ITO e IZUMI (1960) encontraram temperaturas de 90; 310 e 135°C nas alturas de 0; 5 e 30 cm da superfície do solo, para um combustível moderado (3933 kg.ha⁻¹). SMITH e SPARLING (1966) e BAILEY e ANDERSON (1980) (citados por WRIGHT e BAILEY, 1982) mostram uma variação de temperatura atingindo até 400°C, como mostrado na Tabela 2.

TABELA 2. QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL, ALTURA DAS CHAMAS E TEMPERATURAS REGISTRADAS POR DIFERENTES AUTORES.

local	quantidade de combustível	altura (centímetros)	temperatura (°C)	autor
Ontário	2310 kg/ha	0; 5; 10; 20	266; 401; 203; 121	SMITH, 1966
Ontário	544 kg/ha	0; 5; 10; 20; 51	142; 158; 140; 93; 63	SMITH, 1966
_____	5085 kg/ha	0; 5; 15; 30; 45	165; 185; 200; 180; 160	BAILEY, 1980

COUTINHO (1990) cita que a temperatura do ar, no ponto máximo das chamas, atingiu valores da ordem de 899°C numa queima de campo sujo no Distrito Federal. Próximo ao solo os valores ficaram entre 280 e 74°C.

MIRANDA *et al.* (1996), efetuando a queima de duas parcelas de campo sujo (4 ha cada), encontraram temperaturas máximas do ar entre 604 e 752°C, a 0,6 m de altura. A 1 cm, os valores variaram de 578 a 672°C e a 1,6 m de 346 a 700°C. A variabilidade da temperatura máxima esteve associada às condições climáticas que antecederam a queima. Segundo os autores, a permanência da temperatura acima de 60°C foi no máximo de 150 segundos, porém o suficiente para causar a morte das folhas expostas ao fluxo de ar quente.

2.6.5 EFEITO DO FOGO NA TEMPERATURA DO SOLO

O solo, dependendo da forma, arranjo e umidade da camada de serapilheira que está sobre ele, pode atingir temperaturas consideráveis nas primeiras camadas, dependendo das características de isolamento da serapilheira e também da intensidade e tempo de residência do fogo.

BRITTON e WRIGHT (1971), citados por WRIGHT e BAILEY (1982), encontraram uma temperatura superficial de 66°C com a duração de 0,6 a 5,4 minutos, para uma quantidade de combustível acima de 7.865 kg.ha⁻¹. A temperatura superficial

pode variar de 102 a 388°C, dependendo das condições locais de posição da serapilheira ou dos intensos ventos criados pelo fogo. NEVES e MIRANDA (1996) encontraram temperatura de 52,8°C a 1 cm de profundidade, em campo sujo de cerrado. O fluxo de calor no solo variou de 55,3 W.m⁻² a 74,7 W.m⁻² entre a passagem do fogo e logo após atingiu 7% do valor máximo da energia incidente (1.100 W.m⁻²). COUTINHO (1990) cita temperaturas de 74°C próximas à superfície do solo encontradas em campo sujo de Pirassununga e um máximo de 280°C em campo sujo de Brasília. O autor alega que estas variações podem e devem mesmo ocorrer, pois dependem da intensidade do fogo, que por sua vez irá variar em função da fitomassa combustível existente, da velocidade e direção do vento, do grau de umidade do solo e de outros fatores.

Resultados semelhantes aos encontrados no Brasil são referenciados por RALSTON e HATCHELL (1971). Segundo esses autores, os efeitos da temperatura no solo são menores numa queima controlada do que num incêndio. Na Flórida e sul do Mississippi, fogos contra o vento geraram mais de 52°C por mais de 15 minutos entre 3 e 6 cm de profundidade e 2 a 3 minutos com 121°C.

DE BANO (1977), em experimentos de queima da vegetação de Chaparral, em três níveis de intensidade - alta, moderada e leve - obteve temperaturas máximas de 685°C; 430°C e 260°C, respectivamente. Essas temperaturas permaneceram acima de 100°C na superfície do solo por 15 minutos. A 2,5 cm de profundidade as temperaturas máximas foram de 195°C; 175°C e 90°C, respectivamente. A 5 cm, todas as temperaturas estiveram ao redor de 50°C.

2.6.6 EFEITO DO FOGO SOBRE OS NUTRIENTES

Segundo WELLS (1971), o fogo causa um ligeiro aumento dos nutrientes N, P, Ca e Mg e do pH da matéria orgânica junto à superfície de solos minerais (5 a 10 cm). Geralmente esta quantidade era a que estava sob forma orgânica naqueles elementos queimados (serapilheira). Um estudo de 20 anos na Carolina do Sul mostrou que a

queima controlada no inverno volatilizou 7.285 a 28.020 kg.ha⁻¹ de serapilheira e 112,1 a 336,2 kg.ha⁻¹ de N. Entretanto, o autor cita que vários experimentos em diferentes locais têm demonstrado aumento de P e de N mineralizado após o fogo controlado. COOPER (1971) e TATONI *et al.* (1994) confirmam os resultados de WELLS (1971), em relação ao N.

REICH *et al.*(1990) encontraram variação nos aumentos de N, P, K e Mg em parcelas queimadas com diferentes espécies florestais. Eles detectaram aumentos de N e K em *Acer* e *Prunus*, N e P em *Rubus* e N, P, K e Mg em *Quercus*. Os autores afirmam ainda que a matéria orgânica mineralizada tende aumentar no solo e que o N é consumido nas atividades microbianas de fixação e mineralização, que são estimuladas após o fogo pela umidade e temperatura do solo, nutrientes à disposição e pH.

COUTINHO (1996) afirma que 95% do N presente na fitomassa é volatilizado, retornando à atmosfera como gás, assim como P, K, Ca, Mg e S na forma de partículas finas em suspensão junto com a fumaça. Metade dos nutrientes oriundos das queimadas fica em suspensão até retornar ao solo com as precipitações ou com a gravidade. Uma estimativa de uma queima no Parque Nacional das Emas em 1994, com 131.832 ha de cerrado, mostrou que foram perdidos para a atmosfera em torno de 3000 t de N; 320 t de P; 1000 t de K; 1800 t de Ca; 400 t de Mg; 450 t de S; totalizando 6.800 t de nutrientes minerais na forma elementar. Em experimentos realizados nos cerrados de Pirassununga, o autor analisou a entrada e a saída de nutrientes anualmente, verificando que quando as queimadas são realizadas com intervalos de 3 anos não há perda de nutrientes para o ecossistema.

Trabalhos realizados na Europa mostram preocupação com a perda de nutrientes por volatilização, principalmente o N e o P, que pode ser alta quando a serapilheira está totalmente seca (VEGA, 1996). Quanto ao Ca, K e Mg, parece não haver mudança nas quantidades na serapilheira.

2.7 VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS E O AMBIENTE DE FLORESTAS

O estudo das relações entre as plantas e os fatores ambientais, que é uma das ligações entre a Fisiologia, a Bioquímica, a Biologia Celular e a Meteorologia, demonstra a importância de se quantificar os processos físicos neste contexto de exploração de bracatingais. A física do ambiente biológico é baseada na conservação de momentum, massa e energia em sistemas que contêm organismos vivos (MONTEITH, 1973).

Grandes quantidades de energia são transferidas entre a superfície e o ar pelo processo de convecção forçada ou livre, determinando fluxos de calor no sentido solo-ar ou ar-solo, dependendo da posição da fonte de energia que é o sol. Essa turbulência causa uma mistura do ar, tendendo a uma homogeneização das propriedades tais como: vapor d'água, dióxido de carbono, calor sensível e transporte de momentum (LEMON, 1960; WEBB, 1965; ROSE, 1969). A primeira teoria da turbulência adotou os princípios fundamentais da teoria cinética dos gases para exprimir a transferência das propriedades através dos coeficientes de viscosidade, condutividade e difusividade. Essas entidades de troca, denominadas coeficientes de troca por SCHMIDT (1925), foram aplicadas à meteorologia por TAYLOR e RICHARDSON, segundo SUTTON (1953).

A teoria da turbulência estabelece que o transporte de momentum (massa x velocidade), é transferido para baixo, com o vento passando sobre uma superfície. O transporte de momentum é dado por:

$$K_m = (\tau/\rho_a)(\partial_u/\partial_z)^{-1},$$

onde:

K_m = coeficiente de transporte turbulento de momentum, em $\text{cm}^2.\text{s}^{-1}$;

τ = transporte de momentum ;

ρ_a = densidade do ar;

∂_u = variação da velocidade do vento u em $\text{m}.\text{s}^{-1}$;

∂_z = derivada da altura z em m.

A teoria aerodinâmica de transferência de calor sensível A , vapor d'água E , dióxido de carbono Fc ou outra entidade, pode ser estimada pelas equações análogas se os gradientes forem conhecidos (ROSEMBERG, 1974):

$$\tau = \rho_a K_m \frac{\partial u}{\partial z} \quad (\text{momentum});$$

$$A = \rho_a C_p K_h \frac{\partial t}{\partial z} \quad (\text{calor});$$

$$E = \text{const.} \rho_a K_w \frac{\partial e}{\partial z} \quad (\text{vapor d'água});$$

$$Fc = \text{const.} \rho_a K_c \frac{\partial c}{\partial z} \quad (\text{dióxido de carbono}),$$

onde:

K_m ; K_h ; K_w ; K_c são coeficientes de transporte turbulento de momentum, calor sensível, vapor d'água e dióxido de carbono, respectivamente; e

ρ_a = densidade do ar;

u = velocidade do vento;

t = temperatura;

e = pressão de vapor;

c = dióxido de carbono;

z = altura considerada.

Esta teoria da similaridade, em que a convecção forçada está associada com os movimentos verticais das entidades vapor d'água, momentum, calor e dióxido de carbono, mantendo essa relação de fricção entre a superfície e a atmosfera, é amplamente aplicada como mostra ROSE (1969), MONTEITH (1973) e THOM (1975).

THOM (1975) cita que em florestas com alturas superiores a mais de 3 ou 4 m, fluxos substanciais de calor sensível devem ocorrer quando o gradiente d/d_z é comparável ao gradiente adiabático seco ($0,01^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$).

A temperatura do ar próximo à superfície, seja vegetada ou não, é função da radiação recebida. As camadas de ar próximas ao solo, são aquecidas por irradiação, radiação ou convecção, tendendo a diminuir à medida que se eleva da superfície. Vários trabalhos se referem ao perfil de temperatura nas diferentes situações de áreas vegetadas com espécies baixas, rasteiras e em áreas de florestas (LEMON, 1976; ROSEMBERG, 1974). Dependendo da forma ou arquitetura das plantas, há uma distribuição diferenciada da temperatura no perfil. Assim pode haver maior temperatura junto às folhas que recebem maior radiação e portanto estão mais aquecidas (SEEMANN, 1979). Dentro do dossel, a temperatura das folhas é semelhante à do ar, como a medida em abrigo meteorológico.

A maior parte dos estudos em florestas se refere às florestas de coníferas ou decíduas de clima temperado (RAUNER, 1976; ALLEN e LEMON, 1976; JARVIS *et al.* 1976). Pouca informação se tem de florestas tropicais (LEMON, 1976; RIBEIRO *et al.* 1995), dos cerrados (COUTINHO, 1996; MIRANDA *et al.* 1996) e de medições na Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária) e os campos naturais que a rodeiam (SEITZ, 1976; CESTARO, 1988).

ALLEN e LEMON (1976) avaliaram perfis verticais de radiação, temperatura, vapor d'água e CO_2 na biomassa, para o cálculo de balanço de energia na Costa Rica.

FARIA *et al.* (1985) apresentam um balanço de energia em reflorestamento de *Pinus elliottii* com 21 anos de idade, em dias encobertos e limpos. Os fluxos de energia foram maiores próximo às 12 horas, concorrendo para uma maior evapotranspiração.

Um balanço de energia foi medido por LAFLEUR (1982) em Manitoba, Canadá, durante o verão de 1989. O armazenamento de calor no solo representou 9% da radiação líquida, enquanto que os fluxos de calor sensível e latente aprisionaram 44 e 48% respectivamente. A razão de Bowen diária calculada teve uma média de 0,94. Apenas 20% do fluxo de evaporação foi originado da floresta.

Já outros trabalhos relatam uma maior percentagem da fração de evaporação no balanço de energia. FRITSCHEN (1992) estudou a variação do balanço de energia e radiação numa pradaria em Kansas, encontrando uma razão de Bowen 0,32 e a fração de evaporação de 70%. O albedo encontrado foi de 20%. Os valores foram diferentes para o outono. Os fluxos de calor latente e sensível foram mais variáveis que a radiação, refletindo as diferenças sazonais de umidade do solo.

Alguns autores mediram o impacto produzido pelo desmatamento nas condições ambientais. Na Indonésia, PUDJIHARTA e PRAMONO (1989) comparou medidas micrometeorológicas feitas em floresta e em área totalmente desflorestada, entre 1956 e 1972. Os resultados mostraram que a precipitação foi reduzida em 10% na área desflorestada e a temperatura média mensal foi 6,7% menor na floresta. A umidade relativa média mensal foi 10% maior na floresta e a evaporação foi somente 11% do seu valor na área aberta.

UHL *et al.* (1990), em trabalho realizado na Amazônia, citam que as alterações na floresta resultam em transformações significativas no microclima. Ele encontrou uma umidade relativa média de 86% às 13 horas, na floresta primária e de apenas 51% em pastagem. Já nos trechos de floresta explorada e de floresta secundária, no mesmo horário e na mesma estação, a umidade, em média, estava abaixo de 65%. A média da temperatura máxima foi de 38°C na pastagem, caindo para 28°C na floresta primária.

SAULEI (1991) analisou os efeitos do desmatamento em uma floresta no vale Gogol, na Papua, Nova Guiné. O desmatamento resultou num acréscimo da temperatura do solo em cerca de 50%, com um máximo de 44°C na superfície e 34°C a 10 cm de profundidade. Houve um aumento na intensidade luminosa na ordem de 100 vezes mais que na floresta, enquanto que a umidade relativa foi grandemente reduzida.

No Brasil, um estudo semelhante foi desenvolvido por LEOPOLDO (1993) na Amazônia. Foram comparados dois ecossistemas diferentes: com floresta e sem a vegetação natural. Os resultados mostraram que a perda por evaporação foi de 41,8% do total da precipitação em latossolo amarelo e 26,4% em solo arenoso. Foi estimada uma evapotranspiração de 67,9% da precipitação. O balanço de energia calculado para

a floresta, mostrou que 83,1% do total de energia recebida foi usado para o processo de evapotranspiração, enquanto 16,9% foi usado para o calor sensível. Na área sem floresta, 55,1% e 31,8% da energia total foi usada como calor latente pelos latossolo e solo arenoso, respectivamente. Os remanescentes 44,9% e 68,2% foram atribuídos ao calor sensível e de aquecimento do ar dos ecossistemas. Os resultados encontrados pelo autor sugerem que um desmatamento em larga escala na Amazônia poderia ter conseqüências diretas no balanço de água e radiação solar, com a expectativa de alteração das atuais condições climáticas da região.

Medidas do albedo, do saldo de energia radiante, do fluxo de calor no solo e de temperaturas em várias profundidades no solo foram realizadas por DIAS *et al.* (1996), em áreas de campo limpo, queimadas e não queimadas, na região do Brasil Central. Os autores encontraram valores médios de albedo de 0,05, logo após a passagem do fogo no campo sujo e 0,15 no campo limpo. Estes valores subiram para 0,08 e 0,17 aos 27 dias após a passagem do fogo, respectivamente. Na área de controle, o valor variou de 0,22 a 0,25. O fluxo de calor no solo e a amplitude de temperatura foi maior na área queimada (150 W.m^{-2} e 100 W.m^{-2} no horário de maior insolação e -50 W.m^{-2} e -20 W.m^{-2} durante à noite, para a área queimada e controle, respectivamente). Os autores concluíram que a radiação líquida foi pouco alterada pela queima porque a área queimada absorve mais radiação solar mas, com o aumento da temperatura da superfície do solo, perde mais calor por emissão de ondas longas. Concluíram também que a queimada modificou o regime térmico do solo e o balanço de energia e, se for usada freqüentemente, impõe para as plantas um microclima diferente daquele de áreas queimadas em intervalos mais longos.

SONG (1998) estudou o albedo nos diferentes períodos do dia, demonstrando que existe uma assimetria entre a variação diurna do ângulo zenital com a variação do albedo e que isto pode ser explicado pelo ângulo de inclinação do dossel vegetado em função da direção do vento dominante, podendo-se encontrar magnitudes de 10% entre

as medidas de manhã e à tarde, embora os valores encontrados ficaram entre 0,01 a 0,05.

Resultados semelhantes desta variação entre o albedo medido de manhã e à tarde foram encontrados por GIELOW *et al.* (1998), em áreas do Pantanal Sul-Matogrossense. Em áreas inundadas foi encontrado um valor de 0,15 e, em ausência de água, 0,22. Os autores concluíram que a heterogeneidade da paisagem inundada em torno da torre micrometeorológica fez com que houvesse medidas diferenciadas entre os albedos matutinos e os da tarde, as quais aumentam nas horas próximas do nascer e do pôr do sol.

O albedo medido em uma cultura de soja, em fase de crescimento, com aproximadamente 0,60 m de altura, indicou um valor máximo matinal de 0,30, passando por um mínimo de 0,22 por volta das 15 ou 16h aumentando para cerca de 0,65 ao pôr do sol (DIAS *et al.* 1998).

As medidas de albedo e fluxos de energia foram amplamente discutidas em vários trabalhos feitos recentemente no Brasil, como mostra DIAS *et al.* (1998), OKAWA *et al.* (1998) e OKAWA *et al.* (1999), porém em áreas com cultivo de plantas agrícolas ou em áreas cobertas com água. No entanto a situação é diferente em áreas florestadas com bracatinga, seja na cobertura vegetal ou na topografia do terreno, podendo esta última induzir a alguns erros quando se tenta aplicar a teoria da similaridade de MONIN-Obukov.

2.7.1 BALANÇO DE ENERGIA – RAZÃO DE BOWEN

Aplicando-se o princípio de conservação de energia pode-se estimar a transferência de água para a atmosfera em forma de vapor (BERLATO e MOLION, 1981). A equação do balanço de energia pode ser expressa por:

$$R_n = LE + H + S \quad (1)$$

onde:

R_n – radiação líquida, em $W.m^{-2}$;

LE – fluxo de calor latente, em $W.m^{-2}$;

H – fluxo de calor sensível, em $W.m^{-2}$;

S – fluxo de calor no solo, em $W.m^{-2}$.

Pela razão de Bowen (B ou β), tem-se:

$$R_n = LE (1 + B) + S \quad (2)$$

onde:

B – razão de Bowen, calculada pela razão entre H e LE .

Quando se trabalha a poucos metros da superfície, o transporte de calor latente e calor sensível pode ser expresso por:

$$H = C_p K_h (\Delta T / \Delta z) \quad (3)$$

$$LE = -\rho L K_w (\Delta q / \Delta z) \quad (4)$$

onde:

ρ - densidade do ar;

C_p – calor específico do ar à pressão constante;

T – temperatura;

q – umidade específica;

z – altura em metros;

K_h e K_w – coeficientes de transferência turbulenta do calor sensível e do calor latente, respectivamente;

L – calor latente de vaporização.

Portanto da relação entre H e LE , resulta:

$$B = \frac{H}{LE} = \frac{K_h C_p \Delta T}{K_w L \Delta q} \quad (5)$$

Usando a pressão de vapor, em vez da umidade específica, dada pela relação:

$$q = 0,622 e/P \quad (6)$$

onde:

e – pressão atual de vapor;

P – pressão atmosférica.

Substituindo (6) em (5), obtem-se:

$$B = \frac{C_p P \Delta T}{0,622 L \Delta e} \quad (7)$$

Como K_h e K_w não são conhecidos mas em determinadas condições são assumidos como iguais, a razão é então usada para se partir a energia em fluxos de calor sensível e calor latente. Esta técnica foi primeiro proposta por Bowen em 1926, podendo ser assim escrita:

$$B = \frac{C_p P (T_1 - T_2)}{0,622 L (e_1 - e_2)} \quad (8)$$

onde:

$$C_p = 0,240 \text{ cal.g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$P = 1000 \text{ mb}$$

$$L = 590 \text{ cal. g}^{-1}.$$

Resolvendo o primeiro termo tem-se:

$$C_p P / 0,622 L = 0,61 = \gamma \quad (\text{constante de Bowen})$$

$$\beta = 0,61 (\Delta T / \Delta e)$$

Aplicando-se as definições de gradiente para temperatura e pressão de vapor, resulta:

$$\beta = 0,61 \left(\frac{T_1 - T_2}{e_1 - e_2} \right) \quad (9)$$

onde:

$T_1; T_2$ - temperaturas ($^\circ\text{C}$) nos dois pontos considerados (z);

$e_1; e_2$ - pressão do vapor (mb) nos dois pontos considerados.

De (2) obtém-se:

$$LE = \frac{Rn - S}{1 + B} \text{ e das equações (9) e (10) teremos:}$$

$$LE = \frac{Rn - S}{1 + 0,61 \left(\frac{T_1 - T_2}{e_1 - e_2} \right)}$$

onde o LE representa o fluxo de energia consumido na evaporação.

Quando B (ou β) se aproxima de -1 o denominador tende a zero, sendo uma condição que acontece de manhã e à tarde quando o fluxo de vapor é menos intenso. Por outro lado, quando B tende a zero, LE é máximo e o balanço de energia fica:

$$LE = R_n - S$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 LOCALIZAÇÃO

O experimento foi realizado em uma área com bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth.), de propriedade do Sr. Antônio Andreatta, localidade de Poço Fundo, município de Colombo – Paraná, situada a 25° 16' 36" S e 49° 04' 58" W, distante 25 km de Curitiba (Figura1). A altitude média da região é de 890 metros sobre o nível do mar e a topografia de moderada a fortemente ondulada.

3.1.2 CLIMA

De acordo com MAACK (1978) e IAPAR (1994), o clima é Cfb (segundo a classificação de KÖEPPEN), sempre úmido e sem estação seca definida, com o mês mais quente apresentando temperatura média inferior a 22°C, com mais de 5 geadas por ano.

As Figuras 2 e 3 mostram as oscilações das temperaturas e precipitações ao longo dos anos, para a região em estudo.

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM RELAÇÃO A REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA, AO PARANÁ E AO BRASIL.

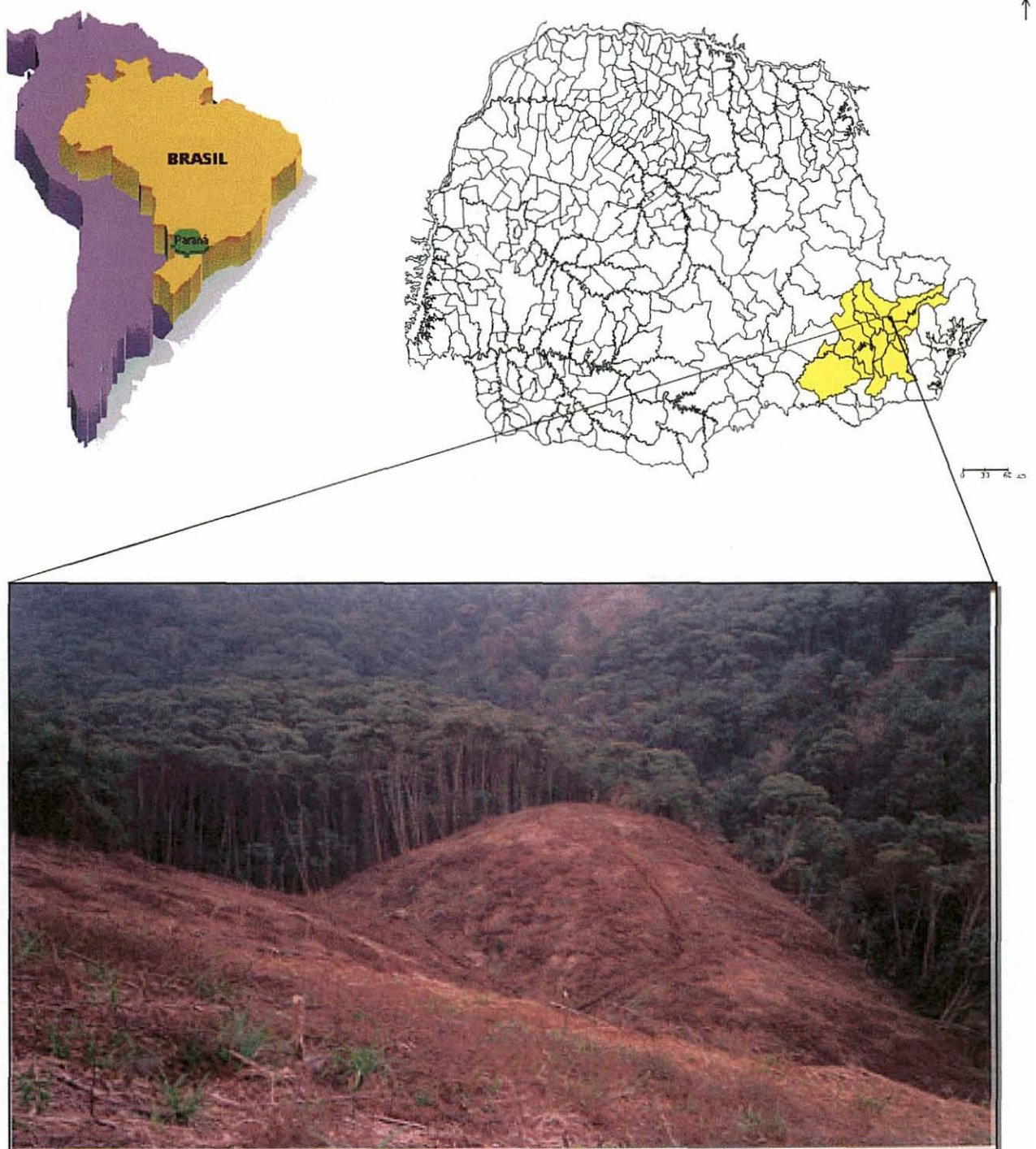


FIGURA 2. TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DO ANO DE 1998 E DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE 1970-1997 (PINHAIS - PR.)

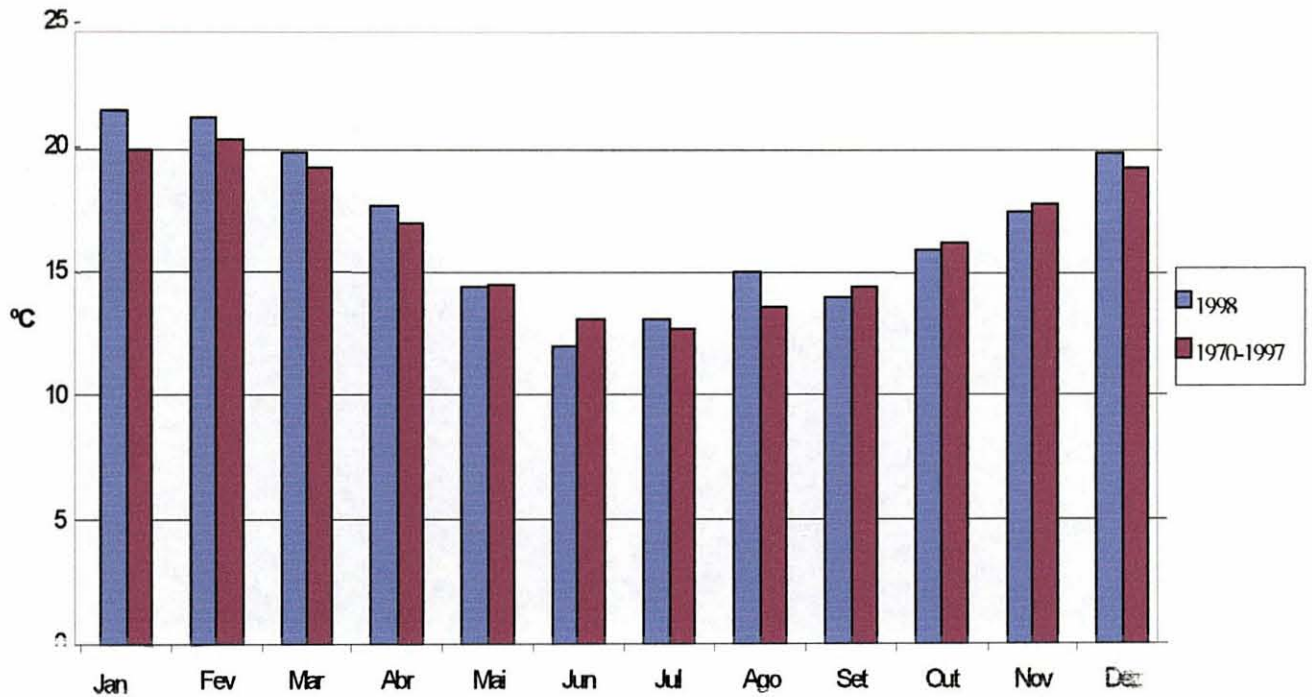
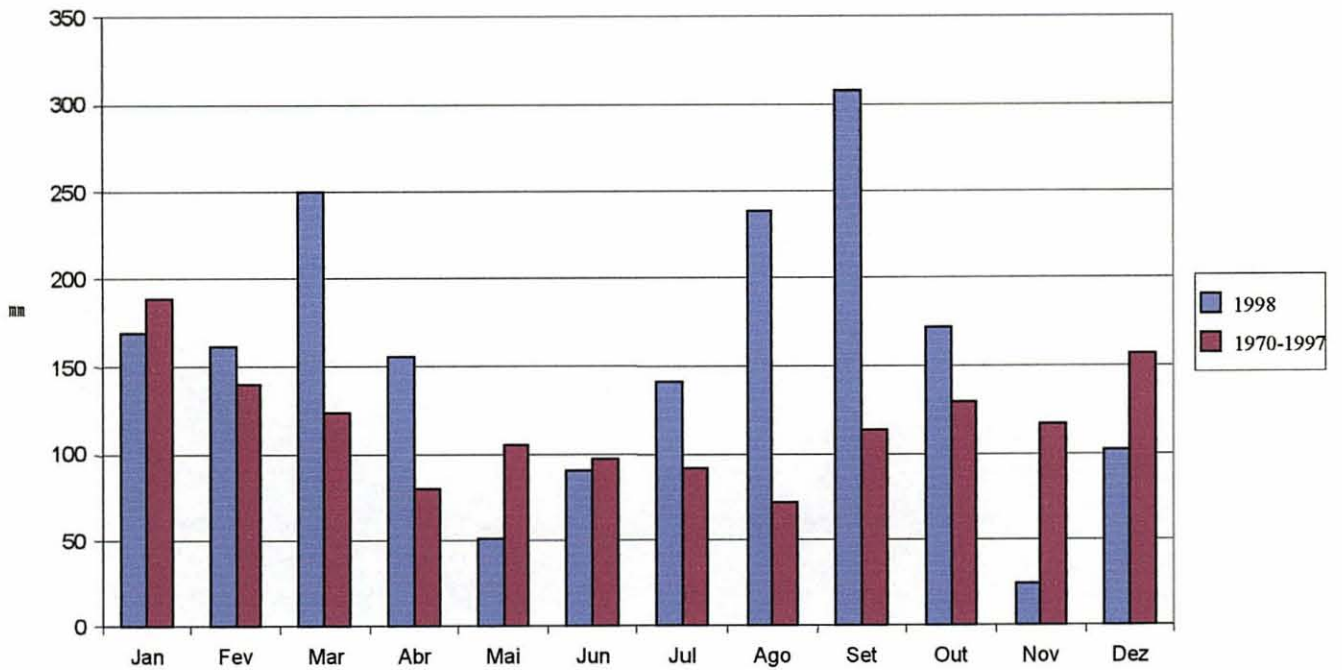


FIGURA 3. PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL DO ANO DE 1998 E DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE 1970-1997 (PINHAIS - PR.)



Os ventos do quadrante norte, que segundo os produtores de bracatinga são os esperados para a queima, representam 33,7% dos ventos, nesta época do ano (média de 1970 a 1997, dos meses julho, agosto e setembro – IAPAR, 2000), quando a maior parte dos bracatingais são queimados (BITTENCOURT, 1990).

3.1.3 SOLO

O solo é classificado como Cambisoló álico com horizonte A moderado (12 cm), de textura argilosa, com profundidade de aproximadamente 1m, situado na região do Pré-cambriano que corresponde ao Primeiro Planalto, onde está a Bacia Sedimentar de Curitiba (EMBRAPA, 1988).

3.1.4 VEGETAÇÃO

Esta região fitogeográfica se enquadra, pelo sistema fitofisionômico – ecológico (IBGE, 1992), como Floresta Ombrófila Mista. Esta área está dentro do clímax climático, embora apresente disjunções florísticas em refúgios da Serra do Mar e Mantiqueira e no passado tenha se expandido para o norte, pois a família *Araucariaceae* apresentava dispersão paleogeográfica que sugere uma ocupação diferente da atual. A composição florística deste tipo de vegetação é representada por gêneros primitivos como *Drimys* e *Araucaria* (Australásicos) e *Podocarpus* (Afroasiáticos) que, em face da latitude e altitude do Planalto Meridional, sugerem uma ocupação recente, a partir de refúgios alto-montanos. A região de estudo se encaixa dentro da classificação Montana, entre 400 e mais ou menos 1000 m de altitude sobre o nível do mar.

Conforme REITZ (1979), *Mimosa scabrella* é uma árvore característica e exclusiva da “Zona da Araucária”, onde ocorre principalmente nas associações secundárias formando às vezes grupamentos puros que caracterizam a vegetação do

secundário no planalto. Esta espécie heliófita é bastante indiferente quanto às condições físicas dos solos.

3.1.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em uma área logo após o corte de um bracatingal de cerca de 7 anos de idade. O talhão cortado representa aproximadamente 5 ha ou seja 25% da propriedade. Nesta mesma propriedade há talhões com 2,4 e 7 anos de idade. Segundo o proprietário, este é o terceiro povoamento com bracatinga que vem seguindo a rotação bracatinga + culturas de verão (milho e feijão), por um período de 22 anos, sendo que anteriormente a área era utilizada para a agricultura. KLEIN (1962) apresenta porém, um mapa elaborado em 1952, no qual a área já era mostrada como de exploração de bracatinga, estando portanto na sexta ou sétima geração com esta espécie. O sistema de rotação segue sempre a queima dos resíduos após o corte e retirada da madeira da área, antecedendo a semeadura das culturas de verão.

3.2 AVALIAÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

Dentro da área de estudo foram delimitados 3 blocos de 300 m² (10 x 30m), localizados à direita, à esquerda e à frente da estrada que é divisora de águas, rumando em direção noroeste, num declive suave. Os blocos ficaram com suas faces mais expostas às direções NE (A₁), SW (A₂) e NW (A₃).

A determinação do material combustível foi feita antes e depois da queima. Para cada bloco, coletaram-se 10 amostras de 1m² cada, onde o material combustível era separado em:

- serapilheira – composto de folhas, pequenos gravetos e outros restos vegetais;
- verde – material vivo (brotações e plântulas);
- material com diâmetro entre 0 e 0,7 cm – pequenos ramos (classe 1);

- material com diâmetro entre 0,71 e 2,5 cm – ramos e galhos (classe 2);
- material com diâmetro entre 2,51 e 7,6 cm – galhos (classe 3);
- material com diâmetro > 7,6 cm – galhos e pequenos troncos (classe 4).

Foi determinado o peso de cada classe em campo, retirando-se em seguida uma sub-amostra que era pesada, identificada, embalada em saco plástico e levada para o Laboratório de Ecologia da EMBRAPA Florestal. No laboratório o material foi seco numa estufa com ventilação forçada modelo 171 da FABBE. Foi utilizada uma temperatura constante de 75°C por 48 horas, determinando-se em seguida o seu peso numa balança elétrica marca Precision PR 1000, com duas casas decimais. Através da diferença entre o peso da sub-amostra no campo (P_u) e o seu peso depois de seca em estufa (P_s), obteve-se o teor de umidade do material pela fórmula:

$$U\% = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Conhecendo-se o teor de umidade de cada classe de material, calculou-se a quantidade total do material seco por amostra e por ha. Assim procedendo, determinou-se a quantidade combustível antes e depois de cada queima e conseqüentemente pela sua diferença, obteve-se a quantidade de material que foi queimado.

Determinou-se a espessura média da manta orgânica através de medidas em cada lado da amostra de 1 m², cortando-se esta com um facão e usando uma régua graduada com precisão de milímetros.

Para a determinação da umidade do material combustível no momento da queima, foram colhidas amostras da manta orgânica e determinado o seu peso antes e depois de seco em estufa, utilizando a fórmula (1).

3.3 AVALIAÇÃO DA QUEIMA

3.3.1 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO (r)

A velocidade de propagação do fogo foi determinada várias vezes, cronometrando-se o tempo gasto pela linha de fogo para percorrer uma faixa de 10 m. Se, por exemplo, ao fim de cada avanço de 10 m, dispendeu-se 230 segundos, a velocidade de propagação era $10\text{m}/230\text{s} = 0,0416\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3.3.2 INTENSIDADE DO FOGO (I)

Para estimar a intensidade do fogo utilizou-se a equação de BYRAM (BROWN e DAVIS, 1983):

$$I = H \cdot w \cdot r, \quad \text{onde:}$$

I = intensidade do fogo , em $\text{Kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$;

H = calor de combustão do material combustível, em $\text{Kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$;

w = quantidade de material combustível, em $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$;

r = velocidade de propagação do fogo, em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Para o calor de combustão do material combustível (H), utilizou-se o valor encontrado em laboratório por FARINHAQUE, 1981, para a bracatinga.

3.3.3 CALOR LIBERADO POR UNIDADE DE ÁREA

Foi calculado por meio da intensidade do fogo e da velocidade de propagação, mediante a relação (ROTHERMEL e DEEMING, 1980):

$$H_a = \frac{I}{r}, \quad \text{onde:}$$

H_a = calor liberado por unidade de área, em Kcal.m⁻²;

I = intensidade do fogo, em Kcal.m⁻¹.s⁻¹;

r = velocidade de propagação do fogo em m.s⁻¹.

3.3.4 TEMPO DE RESIDÊNCIA

O tempo de residência foi estimado em função da velocidade de propagação do fogo e da profundidade da chama (ROTHERMEL e DEEMING, 1980):

$$T_r = \frac{P}{r}, \quad \text{onde:}$$

T_r = tempo de residência, em s;

P = profundidade da chama, em m;

r = velocidade de propagação do fogo, em m.s⁻¹.

3.3.5 TEMPERATURA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO

Foram instalados sensores para medidas da temperatura do fogo nos três blocos. Utilizaram-se termopares de cobre/constantan para as medidas de temperatura do solo nas profundidades de 2,5cm, 5 cm e 10 cm e termopares do tipo chromel/alumel para medidas da temperatura do ar, nas alturas de 1cm, 60 cm e 160 cm acima do solo (Figura 4).

FIGURA 4. DETALHE DAS MEDIDAS DE TEMPERATURAS DURANTE A QUEIMA. AS SETAS INDICAM A POSIÇÃO DOS TERMÔMETROS SOBRE O SOLO.



Os termopares usados para as medidas das temperaturas do ar durante a passagem do fogo foram isolados entre si e presos a um cano metálico através de isoladores de cerâmica. Os demais termopares foram enterrados.

Todos os termopares foram ligados a um “Datalogger” 21X da Campbell Scientific, programado para aquisição de dados a cada 2 e 5 segundos (Anexo 1). As queimas efetuadas pelo produtor foram realizadas em 02 e 03/09/1998. As temperaturas foram assim monitoradas até aproximadamente 30 minutos após a passagem do fogo pelos sensores. O “Datalogger” foi protegido do calor, sendo colocado dentro de uma

caixa de papelão, a qual recebeu ainda uma proteção externa de uma manta de fibra de vidro.

3.4 TESTE DO PSICRÔMETRO VENTILADO

Para as medidas de umidade do ar e temperatura testou-se um pequeno psicrômetro ventilado, utilizando-se de microventiladores para microcomputador (Figura 5), acoplados em tubos de PVC brancos de 5 cm de diâmetro e ligados a uma bateria de automóvel de 12 V (GRODZKI *et al.* 1999). À frente dos microventiladores (e da aspiração do ar) foram instalados 2 termopares de cobre/constantan, sendo um exposto diretamente ao ar (“bulbo seco”) e outro envolvido em cadarço de algodão embebido em água destilada (“bulbo úmido”) devidamente acondicionada em um reservatório próprio, também de PVC branco e protegido dos raios solares.

FIGURA 5. DETALHE DE UM PSICRÔMETRO VENTILADO MONTADO NA TORRE, DENTRO DO BRACATINGAL.



Como a tensão da bateria poderia variar ao longo do tempo, testou-se em laboratório o tempo de resposta do início da ventilação forçada à estabilização da leitura da temperatura do bulbo úmido quando submetidas às diferentes tensões (desde 7,5 a 11,0 Volts).

De posse das curvas de resposta (Anexo 2), observou-se uma estabilização após aproximadamente 40 segundos. Como medida de precaução, nas medidas de campo, adotou-se o tempo de leitura de 60 segundos após ventilação.

Para as leituras no “Datalogger” foi desenvolvido um sub-programa, para efetuar as leituras a cada intervalo de tempo programado. O registro das leituras se processava após comando do “Datalogger” a um amplificador de corrente, o qual ligava os contatos dos microventiladores com a bateria, deixando-os ligados apenas os 60 segundos que antecediam a cada varredura de leituras, economizando assim a energia tanto das pilhas do “Datalogger” quanto da bateria (Anexo 3).

3.4 DADOS MICROMETEOROLÓGICOS

Foram utilizadas torres metálicas cedidas pelo SIMEPAR / COPEL, com altura de 6 m cada, para abrigar os aparelhos micrometeorológicos em dois ambientes distintos:

- 1) Área desmatada;
- 2) Área coberta com povoamento de bracatinga de 3 anos de idade e altura média de 5 m.

Na área desmatada foram instalados os seguintes equipamentos:

No solo:

- bateria de automóvel de 12 V enterrada no solo, devidamente protegida da umidade com placas de isopor e plástico;
- 2 placas de fluxo de calor no solo instaladas a 1 e 10 cm de profundidade;
- 3 termopares instalados a 2,5; 5 e 10 cm de profundidade.

Acima do solo:

- um psicrômetro ventilado a 2 m de altura;

- um relé eletrônico a 2,5 m de altura;
- um abrigo e o “Datalogger”;
- um psicrômetro ventilado a 4 m de altura;
- um psicrômetro ventilado, um radiômetro líquido modelo Q 7.1, fabricado pela Rebs, dois piranômetros modelo LI200X da Licor, voltados para o céu e para o solo e um anemômetro horizontal de hélice, modelo 03001, da RM Young. Todos estes instrumentos foram instalados a 6 m de altura.

Na área com bracatinga foi instalada uma torre idêntica, com os mesmos equipamentos. Os programas para cada torre estão especificados nos Anexos 3 e 4.

As varreduras das leituras eram continuamente feitas a cada 5 minutos, com cálculos das médias e armazenamento dos dados a cada 30 minutos. De posse dos dados, processou-se o cálculo da tensão atual de vapor e , através da fórmula:

$$e = e_s(T_s) - \gamma (T_s - T_u) \text{ onde:}$$

e - tensão atual de vapor em mm;

T_s - temperatura do termômetro de bulbo seco;

T_u - temperatura do termômetro de bulbo úmido;

γ - constante psicrométrica para psicrômetros ventilados, obtida por:

$$\gamma = \frac{C_p}{\epsilon \cdot L} \cdot P \text{ onde:}$$

C_p - 0,242 cal.g⁻¹.°C;

P - pressão atmosférica – 930 mb;

ϵ - razão entre as massas moleculares de vapor d'água e do ar seco;

L - calor latente de vaporização - 590 cal.g⁻¹;

e_s - tensão de saturação à temperatura do bulbo úmido em mm, calculada pela expressão (MURRAY, 1967):

$$e_s = A \exp \left[\frac{17,4T}{(239 + T)} \right] \quad \text{onde:}$$

A – 6,10 mb;

T – temperatura em °C.

3.5.1 DETERMINAÇÃO DOS FLUXOS E BALANÇO DE ENERGIA

A partir da equação do balanço de energia, foi calculado o fluxo de calor latente por meio da equação (BERLATO e MOLION, 1981):

$$LE = \frac{(R_n - G)}{\left[1 + 0,61 \left(\frac{T_0 - T_1}{e_0 - e_1} \right) \right]} \quad \text{onde:}$$

G - fluxo subsuperficial de calor, medido com os fluxímetros de solo, em $W.m^{-2}$;

R_n - radiação líquida, medida pelo radiômetro líquido, em $W.m^{-2}$;

LE - fluxo de calor latente ou fluxo de energia consumido na mudança de fase da água (evaporação), em $W.m^{-2}$;

T_0 ; T_1 - temperatura (°C) nos dois pontos considerados (alturas Z_0 e Z_1);

e_0 ; e_1 - pressão do vapor (mb) nos dois pontos considerados.

O fluxo de calor sensível H foi obtido da equação do balanço de energia:

$$R_n = H + LE + G$$

O método do balanço de energia com a aplicação da razão de BOWEN é usada para separar a energia disponível (radiação líquida + fluxo de calor no solo) em fluxos de

calor sensível e latente, usando uma combinação de equações de transporte e balanço de energia (FRITSCHEN e FRITSCHEN, s/d). A razão de BOWEN é a razão entre as equações de transporte ou gradientes de calor sensível e calor latente.

A razão de Bowen foi calculada pela expressão (BERLATO e MOLION, 1981; DIAS, 1994; CAMPBELL SCIENTIFIC, 1995):

$$\beta = \left[\left(\frac{R_n - G}{LE} \right) \right]^{-1}$$

3.5.2 DETERMINAÇÃO DO ALBEDO

O albedo da superfície, tanto na área desmatada como na área com bracatinga, foi determinado pela razão entre os piranômetros voltados para o céu e para a superfície vegetada, utilizando a seguinte expressão:

$$\rho = \frac{R_{ref}}{R_n} \text{ onde:}$$

R_{ref} – radiação refletida, em $W.m^{-2}$;

R_n – radiação incidente, em $W.m^{-2}$.

3.5.3 ALTERAÇÃO MICROCLIMÁTICA EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL

Compararam-se os dados obtidos das temperaturas nas diferentes alturas, a umidade do ar, o albedo, a radiação líquida, a temperatura e o fluxo de calor no solo, entre as áreas desmatada e coberta com bracatinga.

3.6 EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE BRACATINGA

Para a contagem da regeneração da bracatinga foram distribuídas ao acaso 20 parcelas de 2 m² (7; 6 e 7 por bloco), de acordo com o recomendado por CARPANEZZI (1981). As contagens foram feitas a partir do aparecimento das primeiras plântulas, a cada 15 dias, deixando-se 3 plantas de bracatinga por parcela, para o repovoamento. Foram feitas leituras aos 15; 30; 45; 60; 75; 100 e 115 dias após a queima.

3.7 FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA REGENERAÇÃO

Para a estimativa do número, dominância, cobertura e frequência das plantas, foi adotado o método de BRAUN-BLANKET, segundo MUELLER-DOMBOIS e ELLEMBERG (1974).

Foi construído um quadrado de madeira de 1 x 1m para a contagem das plantas no campo, o qual foi subdividido com cordoalha em espaços regulares de 10 cm, formando uma malha de 10 x 10 cm.

Duas amostragens de plantas foram feitas (16/07 e 22/08) nos blocos, perfazendo um total de 30 parcelas de 1 m² cada. Avaliaram-se todas as plantas germinadas, com a identificação em laboratório, contagem e distribuição espacial, calculando-se então o valor de cobertura, com a soma dos valores relativos da densidade e dominância (GALVÃO, 1994).

As espécies foram agrupadas por família. Independentemente da área amostral, procurou-se identificar as espécies florestais em regeneração, seja por brotação ou por sementeira, que foram encontradas e fotografadas na área queimada, prováveis remanescentes da floresta original.

3.8 UMIDADE DO SOLO NO DIA DA QUEIMA

Determinou-se a umidade do solo no dia da queima. Para tanto, foram feitas 9 amostragens por bloco, nas profundidades de 0 a 10 cm; 11 a 20 cm e 21 a 40 cm. As amostras foram pesadas no Laboratório de Análise de Solos da EMBRAPA Florestal, levadas à estufa (60°C) até obtenção do peso constante em balança elétrica, com 2 casas decimais. Determinou-se a porcentagem de umidade, com base no peso da matéria seca da amostra, como segue:

$$U\% = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} \cdot 100, \text{ onde:}$$

P_u – peso de matéria úmida inicial;

P_s – peso de matéria seca final.

3.9 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE N, P, K, Ca e Mg e do pH ANTES E APÓS A QUEIMA DOS RESÍDUOS VEGETAIS

Foram feitas várias amostragens do solo da área em estudo, sendo coletados 5 pontos ao acaso por bloco, para análise dos elementos N, P, K, Ca, Mg e determinação do pH no perfil de 0 a 0,40 m, subdivididos da seguinte forma:

- amostra 1, de 0 a 5 cm de profundidade;
- amostra 2, de 6 a 10 cm de profundidade;
- amostra 3, de 11 a 15 cm de profundidade;
- amostra 4, de 16 a 20 cm de profundidade;
- amostra 5, de 21 a 40 cm de profundidade.

Estas amostragens foram feitas em diferentes datas, distanciadas entre si por um tempo regular de 30 dias, antes e após a queima, como segue:

15/07/98 – 1ª amostragem;
2 e 3/09/98 – queima;
3/10/98 – 2ª amostragem;
3/11/98 – 3ª amostragem;
3/12/98 – 4ª amostragem.

As amostras foram retiradas a partir da lateral de um perfil cavado no momento da coleta, tendo-se o cuidado de se retirar um “micromonólito” com uma cortadeira, sendo as laterais excedentes retiradas com o auxílio de um canivete, cortando-se então o solo nas alturas correspondentes ao perfil pré-determinado. As amostras eram imediatamente embaladas em sacos plásticos, identificadas e enviadas para o Laboratório de Análise de Solos do IAPAR em Londrina, onde foram analisadas, utilizando a metodologia preconizada por MIYASAWA *et al.* (1992).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

As amostras do material combustível seco coletado antes da queima indicaram 23,51 t.ha⁻¹, no bloco A1; 23,34 t.ha⁻¹ no bloco A2 e 27,37 t.ha⁻¹ no bloco A3, com média de todos os blocos de 24,87 t.ha⁻¹ (Tabelas 3 e 4).

TABELA 3. QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL ANTES E DEPOIS DA QUEIMA (t.ha⁻¹) E PERCENTUAL MÉDIO QUEIMADO.

Classes	Peso (t.ha ⁻¹) antes da queima				Peso (t.ha ⁻¹) depois da queima				% queima
	A1	A2	A3	média	A1	A2	A3	média	
Verde	1,469	1,069	0,602	1,046	-	-	-	-	-
Serapilheira	8,463*	10,397*	10,945*	9,935	3,421	3,290	2,694	3,135	68,440
Classe1	3,553	2,447	3,105	3,035	5,264	0,693	2,771	2,909	4,152
Classe2	6,144	6,517	8,937	7,199	3,703	2,959	2,275	2,979	58,619
Classe3	3,884	2,912	3,784	3,526	2,483	1,539	1,617	1,879	46,720
Classe4	-	-	0,412	0,137	-	-	-	-	-
Total	23,51	23,34	27,37	24,87	10,135	8,483	6,865	8,494	66,226

Valores seguidos por * diferem entre si pelo teste de Newman – Keuls a 5%.

O material verde representou apenas 4,2% do peso total, demonstrando ter exercido pouca influência negativa na progressão e manutenção das chamas.

Os tocos de galhos e troncos com diâmetro acima de 7,6 cm (classe 4) e que poderiam se constituir em matéria potencialmente inflamável, devido a sua baixa quantidade em relação ao total de material combustível, não influenciaram no comportamento do fogo. Em contrapartida os materiais finos e principalmente a

serapilheira que representou a maior quantidade de material combustível, contribuiu para que a queima fosse rápida, conforme afirma BITTENCOURT (1990).

TABELA 4. PESO DA MATÉRIA SECA, EM $t.ha^{-1}$, DO COMBUSTÍVEL POR CLASSE E TOTAL, APÓS DERRUBADA E RETIRADA DA LENHA DE BRACATINGA E ANTES DA QUEIMA.

Classe de material	Peso		
	$t.ha^{-1}$	%	Varição
Verde	1,05	4,21	0,226 – 2,676
Serapilheira	9,93	39,94	6,283 – 14,610
Classe 1	3,03	12,30	0,737 – 5,790
Classe 2	7,20	29,40	0,813 – 14,063
Classe 3	3,53	14,17	0,480 – 14,760
Classe 4	0,13	0,55	-
Total	24,87	100	-

A quantidade de material combustível foi a metade do encontrado por UHL *et al.* (1990), em estudos da floresta amazônica virgem. Eles estimaram uma biomassa de detritos combustíveis de $56 t.ha^{-1}$, sendo que 7% deste total era representado pelos combustíveis finos prontamente inflamáveis. Em floresta explorada este valor subiu para $179 t.ha^{-1}$.

BAGGIO e CARPANEZZI (1995), estimando os resíduos de bracatinga após a exploração florestal e com galhadas no solo, encontraram valores mais altos que o do presente trabalho, ao analisarem 5 sítios da Região Metropolitana de Curitiba. Eles encontraram um valor médio de $40,85 t.ha^{-1}$ de matéria seca, sendo $9,81 t.ha^{-1}$ de lenha, $15,13 t.ha^{-1}$ de galhos e $15,29 t.ha^{-1}$ de serapilheira. Em trabalho mais recente, BAGGIO e CARPANEZZI (1997) estimaram uma biomassa média de $69,99 t.ha^{-1}$ de matéria seca, sendo que a lenha correspondeu a 85,4% da biomassa aérea, os galhos 9,2% e a biomassa verde 5,4%.

Os valores de material combustível encontrados no presente estudo, são maiores que os estimados para *Pinus* e *Eucalyptus* em diversos trabalhos no Brasil (SOARES, 1979; BATISTA, 1995; RIBEIRO, 1997), porém semelhantes ao determinado por BROWN e DeBAYLE (1989) para *Populus tremuloides*.

Após a queima, o material residual apresentou um valor médio de 8,50 t.ha⁻¹ de combustível sendo 36,94% de serapilheira, 5,88% da classe 1; 35,06% da classe 2 e 22,12% da classe 3 (Tabela 5).

TABELA 5. PESO SECO EM ESTUFA, EM t.ha⁻¹, DO MATERIAL COMBUSTÍVEL POR CLASSE E TOTAL, APÓS A QUEIMA, COLOMBO, PR.

Classe do material	Peso		
	t.ha ⁻¹	%	Extremos (t.ha ⁻¹)
Serapilheira	3,14	36,94	1,51 – 5,45
Classe 1	0,50	5,88	0,08 – 2,21
Classe 2	2,98	35,06	0,22 – 7,80
Classe 3	1,88	22,12	0,38 – 10,96
Total	8,50	100	-

Este valor ainda é cerca de 10 vezes maior do que o encontrado por MIRANDA *et al.* (1996) em campo sujo do Cerrado.

A classe que mais foi consumida pelo fogo foi a serapilheira e que era também a que possuía a maior quantidade de combustível. Em média, 66,22% do material combustível total queimou deixando um residual de 8,50 t.ha⁻¹.

A análise de variância indicou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Newman-Keuls, entre os blocos A1 e A2; A1 e A3, para a serapilheira, antes da queima.

Os valores indicaram uma deposição irregular dos materiais orgânicos, função da disposição espacial da bracinga e de outras espécies, nutrientes, topografia e mancha de solo (Tabela 5). BAGGIO e CARPANEZZI (1997) também fizeram referência à deposição irregular da matéria orgânica nos diferentes sítios.

A serapilheira por ser constituída de material mais fino e por conseguinte que se molda e acama melhor, acaba constituindo-se de uma camada mais densa e úmida que protege o solo das altas temperaturas.

O elevado teor de umidade da serapilheira por ocasião da queima, fez com que sobrasse maior quantidade deste material. A média de umidade do material combustível nos dias da queima se encontrava em torno de 28,19% (Tabela 6), porém o material de menor diâmetro devido ao contato com o solo, apresentava maior umidade, em razão do solo estar bastante úmido. Embora este valor estivesse dentro dos limites de “umidade de extinção” do fogo (SOARES, 1985), as camadas de serapilheira mais secas e superficiais favoreceram a sua combustão.

TABELA 6. UMIDADE MÉDIA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL (%) NA HORA DA QUEIMA.

02/09/1998		03/09/1998		% de umidade média nos dias de queima
Hora	% de umidade	Hora	% de umidade	
13:30	28,17	13:00	26,56	-
14:00	29,92	-	-	-
14:30	31,38	-	-	-
Média	29,82	-	26,56	28,19

Na Tabela 7, são apresentados os resultados da espessura da manta orgânica, antes e depois da queima. De um modo geral sua distribuição foi uniforme nos blocos analisados e não houve diferença estatística entre as parcelas medidas.

Após a queima restou pouco menos de 10% da manta orgânica inicial, função do material mais úmido e em contato com o solo.

TABELA 7. ESPESSURA MÉDIA DA MANTA ORGÂNICA ANTES E APÓS A QUEIMA (cm), POR BLOCO E PERCENTUAL MÉDIO QUEIMADO.

Blocos	Espessura da manta orgânica (cm)		
	Antes da queima	Depois da queima	% queimado
A1	4,00	0,28	92,0
A2	4,05	0,26	93,6
A3	3,80	0,32	91,6
Média	3,95	0,29	92,7

4.2 DESCRIÇÃO DA QUEIMA

As queimas foram realizadas sempre a favor do vento. O seu início se deu por volta das 14:00 horas dos dias 02 e 03/09/98, sendo que as condições ambientais eram as seguintes:

- Vento da direção N variando de 14,4 a 16,2 km.h⁻¹ (média de 4 m.s⁻¹);
- Temperatura variando de 26 a 30°C (dia 02) e 26 a 27°C (dia 03);
- Umidades relativas de 48 a 59% para o dia 02 e 56 a 62% para o dia 03;
- Última precipitação acima de 5 mm, ocorrida no dia 19/08; houve uma

ocorrência de precipitação de 3,6 mm no dia 29/08.

Essas condições são concordantes com a bibliografia (BROWN e DAVIS, 1973) para a realização de uma queima satisfatória.

Os parâmetros médios do comportamento do fogo estão apresentados na Tabela 8.

A propagação média do fogo nos dias 2 e 3/09 foi de 0,041 m.s⁻¹ o que, pela escala de RIGOLOT (1990), citado por BATISTA (1995), representa uma propagação de média velocidade (entre 0,0333 e 0,1666 m.s⁻¹). Esta velocidade foi obtida sob

vento constante do quadrante N, correspondente a um valor médio de 14,7 km.h⁻¹ (média de 4 m.s⁻¹).

TABELA 8. MÉDIA DOS PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO FOGO.

Parâmetros	A1	A2	A3	Média
Velocidade de propagação (m.s ⁻¹)	0,044	0,041	0,040	0,041
Intensidade do fogo (Kcal.m.s ⁻¹)	363,07	362,93	426,26	384,08
Calor liberado por área (Kcal.m ⁻²)	8855,36	8851,95	10396,50	9367,93
Tempo de residência (segundos)	9,75	11,36	15,00	12,00

A intensidade do fogo foi calculada utilizando-se o poder calorífico encontrado em laboratório para a bracinga (FARINHAQUE, 1981), ajustando-se o valor de acordo com a umidade do material combustível no dia da queima (28,2%).

A falta de trabalhos que apresentassem características de queimadas em sítios semelhantes ao estudado, tornaram difícil a comparação dos resultados, uma vez que a resposta ao fogo de qualquer elemento do ecossistema depende diretamente do comportamento do fogo.

Quando se trata da queima de resíduos orgânicos em área aberta, deve-se esperar uma maior intensidade de fogo, seja pela quantidade de material inflamável, seu grau de umidade ou pelo vento agindo sem obstáculo, que está soprando sobre a área.

O valor da intensidade do fogo encontrada no presente estudo superou os dos diferentes autores, em queimas controladas em reflorestamentos (SOARES, 1979; ROTHERMEL e DEEMING, 1980; BATISTA, 1995; RIBEIRO e SOARES, 1999).

MIRANDA *et al.* (1996) mostraram que, apesar da menor quantidade de combustível em campo sujo na região de cerrado, a intensidade da frente de fogo atingiu valores da ordem de 1256 a 8134 KJ.m⁻¹.s⁻¹ (300,41 a 1940,76 Kcal.m⁻¹.s⁻¹).

Nota-se no bloco A3 maiores valores de calor liberado por unidade de área, justamente por estar a vertente deste bloco voltada para o vento dominante do dia da queima, além da frente de fogo estar avançando em direção às cotas mais elevadas.

Os valores encontrados em todos os blocos superaram àqueles obtidos por MIRANDA *et al.* (1996), onde o calor liberado atingiu 8373 a 14260 KJ.m⁻² (1997,79 a 3410,76 Kcal.m⁻²), que segundo os autores, foram similares aos registrados para queimadas de savanas. A menor quantidade de material combustível contribuiu para uma menor intensidade de fogo, em campo sujo do cerrado.

RIBEIRO (1997) encontrou valores de até 4709,39 KJ.m⁻² (1126,41 Kcal.m⁻²), em queimas à favor do vento em reflorestamentos de *Eucalyptus*.

O tempo de residência ou duração do fogo num determinado ponto, foi calculado com base na fórmula:

$$Tr = P \cdot r^{-1}, \text{ onde}$$

P – profundidade média estimada da chama em m;

r – velocidade de propagação em m.s⁻¹;

Tr – tempo de residência em segundos.

A profundidade média da chama em metros foi determinada visualmente, tomando-se como referência uma régua graduada. Várias medidas foram feitas, obtendo-se um valor médio de 0,50 m.

$$Tr = 0,50\text{m} / 0,041 \text{ m.s}^{-1} = 12,20 \text{ segundos.}$$

O resultado encontrado mostra que esta queima teve um tempo menor quando comparada com os dados obtidos em *Pinus taeda* por BATISTA (1996) em quatro anos de levantamento (média de 14,38 segundos).

Segundo ROTHERMEL (1983), o tempo de residência depende das características do material combustível, principalmente da relação entre a superfície e o volume da camada combustível depositado sobre o solo. Esta relação também é dependente das dimensões das partículas que compõe o material combustível.

ROTHERMEL (1983) encontrou valores de tempo de residência variando de 6 a 20 segundos em áreas florestais americanas.

4.3 TEMPERATURAS DURANTE A PASSAGEM DO FOGO

Foram medidas as temperaturas do ar a 1; 60 e 160 cm acima da superfície do solo nas queimas dos dias 2 e 3 /09/98. Os resultados encontram-se nas Figuras 6 e 7.

FIGURA 6. TEMPERATURA DE QUEIMA, OBSERVADA EM TRÊS ALTURAS, NO DIA 02/09/1998.

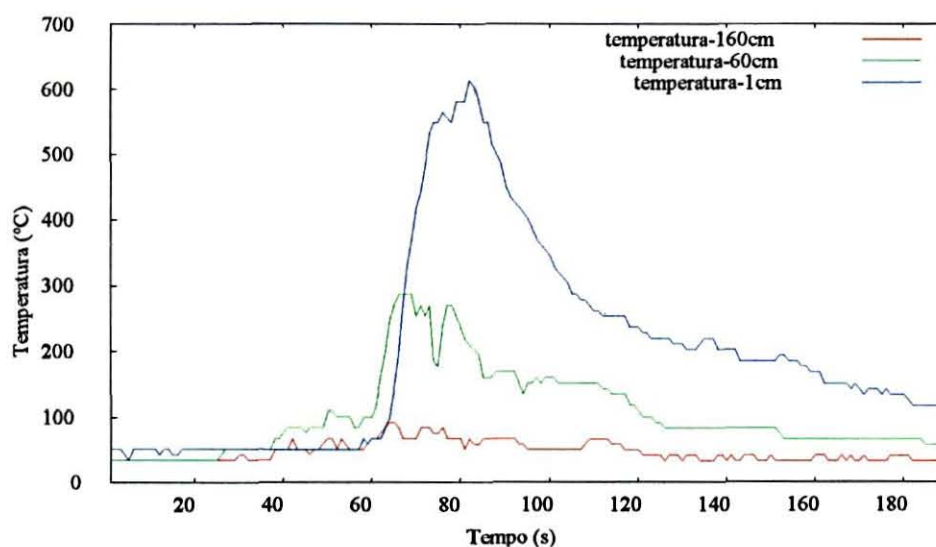
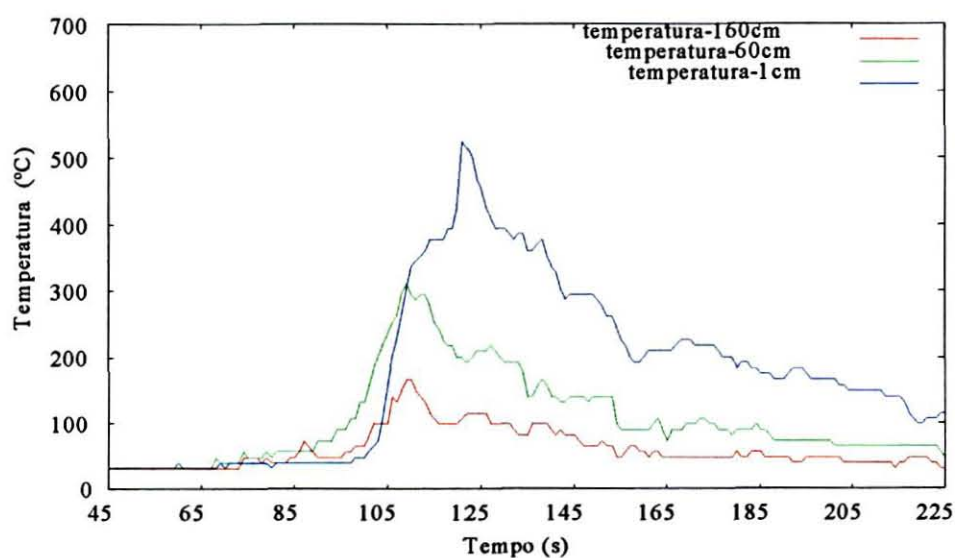


FIGURA 7. TEMPERATURA DE QUEIMA, OBSERVADA EM TRÊS ALTURAS, NO DIA 03/09/1998.



Para o dia 2, a Figura 6 mostra que a 1 cm as temperaturas atingiram valores ao redor de 600°C por um período aproximado de 20 segundos. Quando se compara esses valores máximos com os obtidos a 60 cm de altura, observa-se uma defasagem em tempo daquelas temperaturas máximas para estas, função provável da inclinação das chamas em razão da turbulência do gradiente térmico e da velocidade do vento. Já entre 60 e 160 cm não há defasagem de tempo aparente para as temperaturas máximas.

Para o dia 3 (Figura 7), os valores máximos também foram atingidos a 1 cm do solo, indicando que o tempo de residência calculado coincide com as mais altas temperaturas observadas.

Existe a mesma defasagem de tempo entre 1; 60 e 160 cm da superfície. As temperaturas de queima a 60 e 160 cm foram mais altas no dia 3 que no dia 2 em função da menor velocidade do vento ($14,4\text{ km.h}^{-1}$ contra $16,2\text{ km.h}^{-1}$), embora a umidade relativa neste dia tenha sido ligeiramente maior (média de 59 % contra 53 % no dia anterior), no momento da queima. Estes valores foram semelhantes aos descritos por VEGA (1996) em queimas controladas para umidade relativa do ar entre 25 e 75%, porém mais altos com relação a velocidade do vento, $0,3$ a 5 km.h^{-1} , na União Européia.

COUTINHO (1996) afirma que as temperaturas de queima em cerrado podem atingir 800°C ou mais, mas que essa elevação da temperatura é de curta duração.

MIRANDA *et al.* (1996) encontraram uma duração do pulso de calor acima de 60°C , por um período de permanência de 150 segundos. As temperaturas máximas variaram de 604 a 752°C a 60 cm de altura, dentro da faixa de variação normal para queimadas em cerrados (entre 70 e 800°C na superfície do solo e 200 a 800°C a cerca de 1 m de altura), conforme citam MIRANDA *et al.* (1993) e FROST e ROBERTSON (1987).

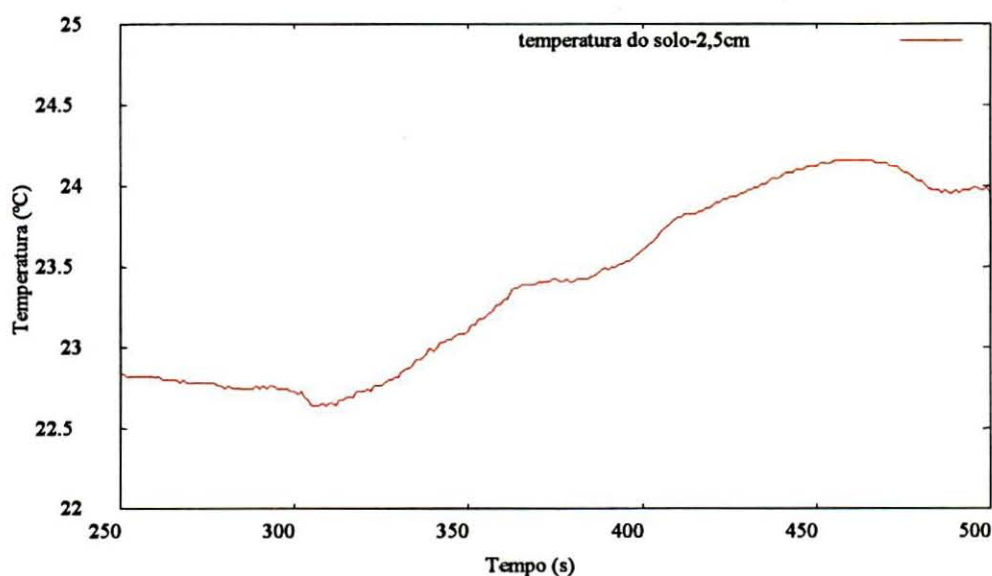
O tempo de permanência da temperatura acima de 60°C no dia 3, na superfície do solo, de 320 segundos, foi bem superior ao encontrado por MIRANDA *et al.* (1996). A diferença pode ser explicada pelas características do material combustível, o qual naquele trabalho constituiu-se principalmente de combustíveis finos de rápida combustão, que não é o caso da bracatinga.

4.4 TEMPERATURA DO SOLO DURANTE A PASSAGEM DO FOGO

Não foi possível obter todas as temperaturas do solo no momento da queima, por problemas de conexão dos termopares. No entanto obtiveram-se dados desde momentos antes da queima até instantes pós-fogo a 2,5 cm de profundidade (Figura 8).

Como já discutido anteriormente, a manta de serapilheira que ficou em contato com a superfície protegeu as primeiras camadas do solo, não permitindo grandes alterações de temperatura. A temperatura no instante 0 (14:30h) estava em torno dos 23°C e permaneceu assim até a passagem do fogo, elevando-se gradualmente até pouco acima dos 24°C aos 445 segundos, permanecendo neste patamar até os 500 segundos.

FIGURA 8. TEMPERATURA DE QUEIMA A 2,5cm DE PROFUNDIDADE NO SOLO (DIA 03/09/1998).



Pelos resultados depreende-se que a queima não afetou a atividade biológica do solo. Comparando-se este resultado com os obtidos na torre 1 que estava localizada na área desmatada porém não queimada (Figura 9), nota-se uma maior amplitude de temperatura na torre nos dias 2 e 3, mostrando que na prática a queima não afetou a temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade.

É de se esperar que em níveis mais superficiais haja alterações de temperatura, como as encontradas por NEVES e MIRANDA (1996) em campo sujo de cerrado, onde a temperatura chegou a 52,8°C a 1 cm de profundidade. Novamente a umidade da serapilheira constituída em boa parte com os folíolos de bracatinga forma uma massa mais densa que mantém um ambiente úmido e que isola de certa forma o ambiente do solo propriamente dito.

VEGA (1996) em um estudo de um perfil típico de temperatura do solo durante a queima, mostrou que o solo mineral foi muito pouco influenciado, sendo que a camada imediatamente acima mostrou algumas alterações. O autor salienta porém que, quando a umidade da manta era menor que 70% e sua profundidade menor que 2 cm, se produziram temperaturas letais (acima de 60°C). Ele concluiu que a realização da queima sobre o solo úmido é uma garantia para não produzir danos nas raízes e micorrizas das árvores.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO SOLO NA ÁREA DESMATADA E EM ÁREA ADJACENTE COBERTA COM BRACATINGA

As Figuras 9 e 10 mostram a variação da temperatura nas 3 profundidades, para os dois ambientes descritos, entre 29/08 e 04/09/98.

FIGURA 9. TEMPERATURAS DE SOLO EM °C, OBTIDAS ANTES E NOS DIAS DE QUEIMA, NA TORRE 1 (ÁREA DESMATADA).

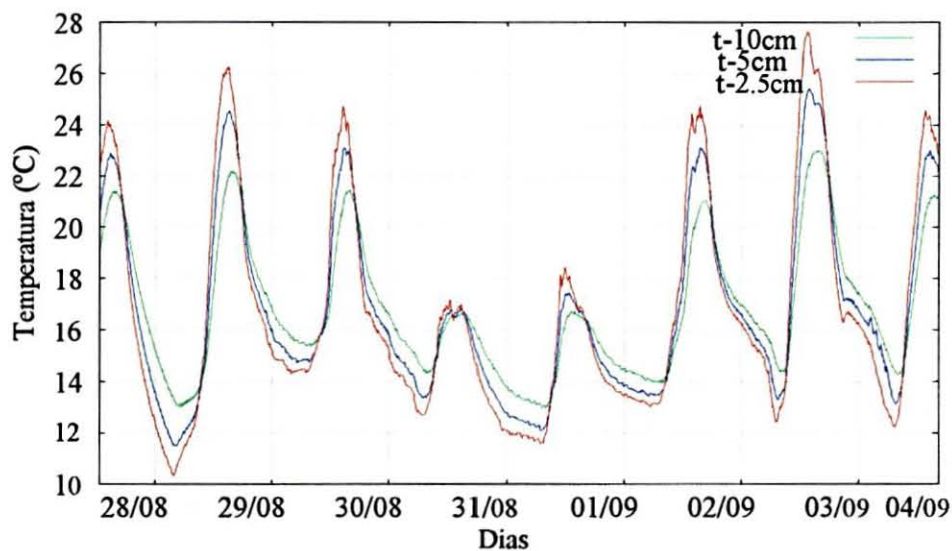
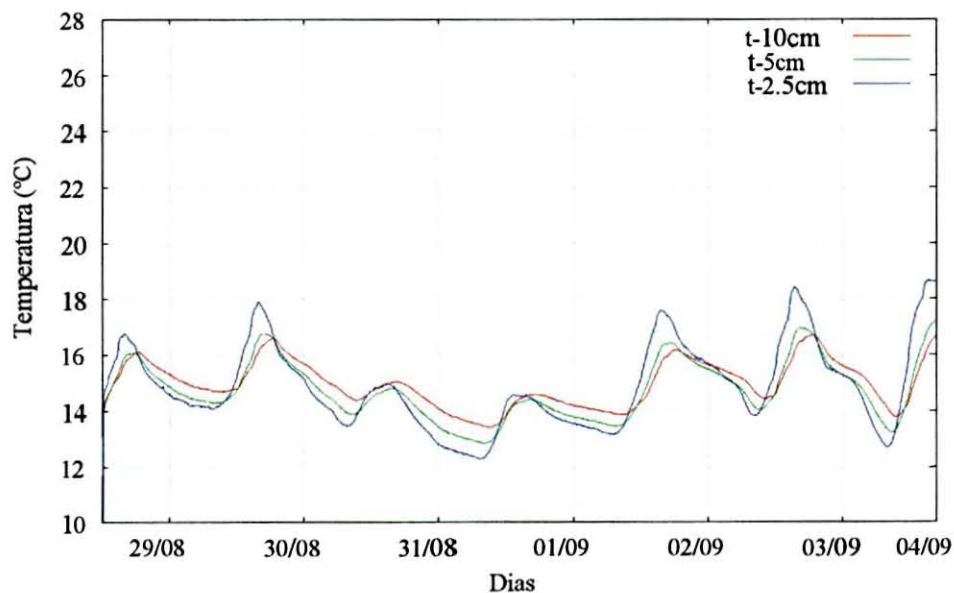


FIGURA 10. TEMPERATURAS DE SOLO EM °C, OBTIDAS ANTES E NOS DIAS DE QUEIMA, NA TORRE 2 (ÁREA COM BRACATINGA).



Para os dias da queima, na área descoberta, a variação térmica próxima à superfície atingiu valores de 12,2 até 27,5°C. Estes dados quando comparados com a

área coberta, mostram bem os efeitos da transferência de energia dentro da área florestada. A amplitude aí, para os mesmos dias, estabeleceu-se entre 13,8 e 18,4°C para o dia 2 e 12,7 e 18,6°C para o dia 3, dando uma diferença aproximada de 10°C para menos nas temperaturas superiores.

CESTARO (1988) encontrou também diferenças de temperatura quando comparou área de gramíneas e floresta com araucária. Foram feitas comparações de junho a dezembro nas profundidades de 5, 10 e 20 cm. Nos meses inverniais (junho, julho e agosto) as diferenças não foram significativas, sempre maior para a área gramada, mas foram aumentando até um máximo em dezembro. Em julho, a 5 cm de profundidade, a diferença entre as temperaturas médias foi de 0,8°C enquanto em dezembro essa diferença elevou-se para 5,3°C. O autor concluiu que as temperaturas médias, máximas e mínimas foram geralmente menores na mata do que no gramado. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados no presente estudo.

A Tabela 9 apresenta a amplitude térmica determinada em diferentes datas na área desmatada (aberta) e com bracatinga. A amplitude térmica em agosto (17 a 19/08) ficou em 6,2 ; 3,9 e 3,2°C para 2,5; 5 e 10 cm de profundidade, respectivamente, mostrando que é tanto maior quanto mais próximo da superfície.

Entre 28/08 e 04/09, esta amplitude cresceu para a área desmatada, atingindo valores de 17,1; 13,9 e 10,0°C e estabilizou-se neste patamar entre 03 e 09/10, com valores 16,0; 13,0 e 9,5°C para as profundidades 2,5; 5 e 10 cm respectivamente.

Na área de bracatinga, entre 28/08 e 04/09, a amplitude térmica atingiu valores um pouco mais baixos (9,0; 5,7 e 4,4°C) do que os valores observados no período entre 03 e 09/10, nas profundidades de 2,5; 5 e 10 cm respectivamente. Os resultados obtidos nos dois períodos analisados mostram que há uma amenização da temperatura na área sob a floresta, diminuindo as temperaturas extremas e conseqüentemente a amplitude térmica.

TABELA 9. AMPLITUDE TÉRMICA DO SOLO (°C) A 2,5; 5 E 10 cm DE PROFUNDIDADE E SUAS MÉDIAS ENTRE AGOSTO E OUTUBRO DE 1998, EM ÁREA DESMATADA E COM BRACATINGA, COLOMBO, PR.

Datas	Temperatura (°C)	Área desmatada			Área com bracatinga		
		2,5 cm	5 cm	10 cm	2,5 cm	5 cm	10 cm
17/08 a	mínima	14,8	14,9	15,4	-	-	-
19/08	máxima	21,0	18,8	18,6	-	-	-
28/08 a	mínima	10,4	11,5	13,0	12,3	12,8	13,6
04/09	máxima	27,5	25,4	23,0	19,6	16,9	16,7
03/10 a	mínima	14,2	14,9	15,0	15,4	15,2	15,5
09/10	máxima	30,2	27,9	24,5	24,4	20,9	19,9
Média	mínima	13,1	13,8	14,5	13,8	14,0	14,5
Média	máxima	26,2	24,0	22,0	22,0	18,9	18,3
Média	-	19,7	18,9	18,3	17,9	16,5	16,4

Os resultados demonstraram também que a amplitude térmica do solo é maior quanto mais próximo da superfície, em decorrência da energia recebida do sol durante o dia e que se difunde em menor escala, para maiores profundidades.

As temperaturas médias, para os 3 períodos analisados, mostrou uma diferença de 2° C entre as áreas desmatada e com bracatinga, sendo maior naquela (desmatada).

Com relação à profundidade do solo, a temperatura média também foi maior a 2,5 cm, tanto na área desmatada como na de bracatinga. As temperaturas médias a 2,5 cm de profundidade foram de 17,9; 19,0; 22,2 e 19,6°C para a área desmatada e 15,9; 19,9 e 17,9°C para os períodos considerados.

A análise a 10 cm de profundidade mostrou a que a temperatura média foi de 17,0; 18,0; 19,7 e 18,2°C (área desmatada) e 15,1; 17,7 e 16,4°C (área com bracatinga), para os períodos considerados respectivamente, mostrando o fator amenizador da cobertura vegetal florestada.

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS FLUXOS DE CALOR NO SOLO NA ÁREA DESMATADA E EM ÁREA ADJACENTE COBERTA COM BRACATINGA.

A variação dos fluxos de calor entre os dias 28/08 e 04/09, para as áreas desmatada e com bracatinga, mostrou que a amplitude de fluxo a 2 cm de profundidade, teve uma diferença sensível nos fluxos entre os dois ambientes (Figuras 11 e 12).

FIGURA 11. FLUXOS DE CALOR NO SOLO A 2 E 10 CM DE PROFUNDIDADE, NA TORRE 1, EM ÁREA DESMATADA, ANTES E NOS DIAS DE QUEIMA.

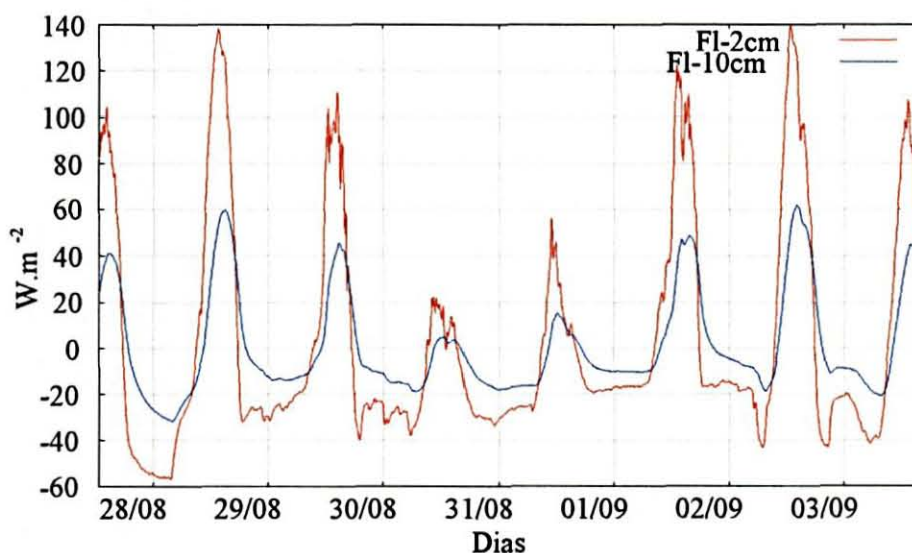
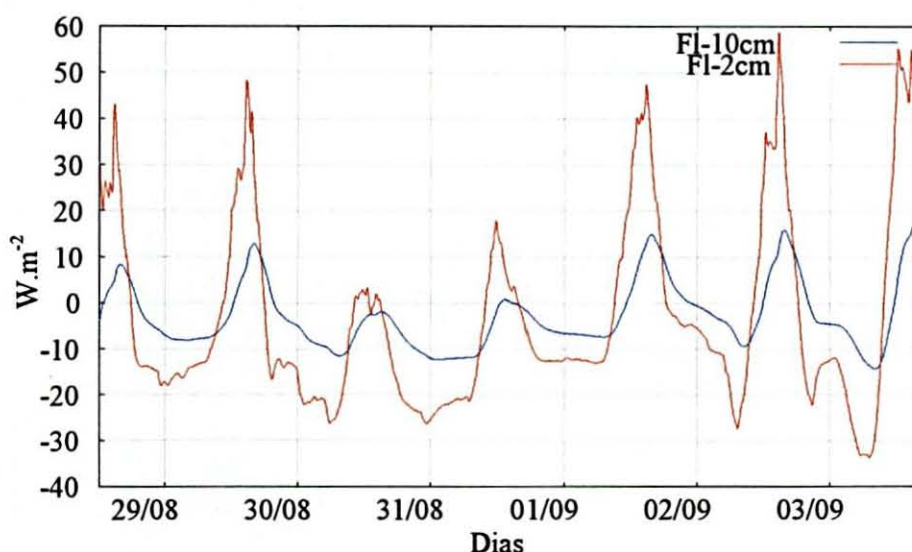


FIGURA 12. FLUXOS DE CALOR NO SOLO A 2 E 10 CM DE PROFUNDIDADE, NA TORRE 2, EM ÁREA DE BRACATINGA, ANTES E NOS DIAS DE QUEIMA.



Na profundidade de 2 cm foi encontrado um valor mínimo de $-50,7 \text{ W.m}^{-2}$ e um máximo de $139,0 \text{ W.m}^{-2}$, para a área desmatada (Figura 11). Para o mesmo período, a área florestada apresentou um mínimo de $-34,0 \text{ W.m}^{-2}$ e um máximo de 58 W.m^{-2} (Figura 12). A diferença encontrada entre as duas áreas foi de $16,7 \text{ W.m}^{-2}$ para o valor mínimo e $81,0 \text{ W.m}^{-2}$ para o valor máximo. A amplitude foi de $189,7 \text{ W.m}^{-2}$ para a área desmatada e $102,0 \text{ W.m}^{-2}$ para a área coberta com bracatinga, evidenciando o poder amenizador da cobertura florestal sobre as oscilações de fluxo.

Na análise do fluxo a 10 cm de profundidade, notou-se uma diminuição da amplitude de energia, maior na área desmatada e de menor variação na área florestada, ($90,2 \text{ W.m}^{-2}$ e $28,9 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente).

Em dias de pouca radiação, intensamente nublados e/ou chuvosos, como foi o caso do dia 31/08 (IAPAR, 2000), na área desmatada, os fluxos embora positivos durante o dia, ficaram muito próximos de zero, enquanto que na área florestada estiveram praticamente nulos a 2 cm e negativos a 10 cm de profundidade. Isto mostra que houve um fluxo ascendente de calor vindo das camadas mais profundas do solo em direção à superfície.

Já nos dias das queimas (02 e 03/09), em que a radiação global foi intensa, durante o dia os fluxos permaneceram positivos, mostrando que uma parcela

significativa de energia foi transferida para o solo em ambas as áreas desmatada e com bracatinga.

NEVES e MIRANDA (1996) encontraram valores de fluxo de calor no solo da ordem de $55,3 \pm 1,7 \text{ W.m}^{-2}$ antes do fogo e $74,7 \pm 2,4 \text{ W.m}^{-2}$ depois da passagem do fogo. Embora não se referindo à amplitude de fluxos entre dia e noite, a figura apresentada em sua pesquisa apresenta uma amplitude em torno de $96,7 \text{ W.m}^{-2}$ após a queimada, para um campo sujo de cerrado. Esta variação de fluxo foi inferior aos valores encontrados no presente estudo, sendo similares para a área florestada.

A análise de um dia ensolarado na área desmatada, cerca de 30 dias após a queima (04/10), mostrou uma variação de fluxo entre $-9,0$ e $106,0 \text{ W.m}^{-2}$ a 2 cm de profundidade, quando já havia formação de vegetação herbácea recobrando o solo. Estes resultados corroboram os encontrados por SAN JOSÉ (1992); FISH *et al.* (1994) e NEVES (1996), os quais afirmaram que após a passagem do fogo há um aumento da amplitude do fluxo de calor no solo, sendo maiores durante o dia e menores à noite, pois não tem uma proteção isolante da vegetação.

DIAS *et al.* (1998) mostraram que, através dos dados coletados no mês de dezembro em uma cultura de soja no oeste do Paraná, houve uma variação da ordem de 300 W.m^{-2} durante a hora mais quente de dias ensolarados e até -66 W.m^{-2} à noite. Esta perda de energia à noite está associada ao solo desnudo ao redor da torre de medição. O gráfico apresentado por DIAS *et al.* (1998) apresentou ainda uma tendência de aparecimento de um segundo máximo de fluxo no fim da tarde, o que pode ser também observado, porém com menor intensidade, na área desmatada mas não na área com bracatinga. Não se observou este efeito a 10 cm de profundidade.

4.7 VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE BULBO SECO (T_s) E ÚMIDO (T_u) NAS ÁREAS DESMATADA E COBERTA COM BRACATINGA

O perfil das temperaturas de bulbo seco e úmido é apresentado nas Figuras 13 e 14, para as áreas desmatada e coberta com bracatinga.

FIGURA 13. TEMPERATURAS DE BULBO SECO (T_s) E ÚMIDO (T_u), OBTIDAS NA ÁREA DESMATADA, DE 28/08 A 04/09 A TRÊS ALTURAS: A - 2m; B - 4m ; C - 6 m.

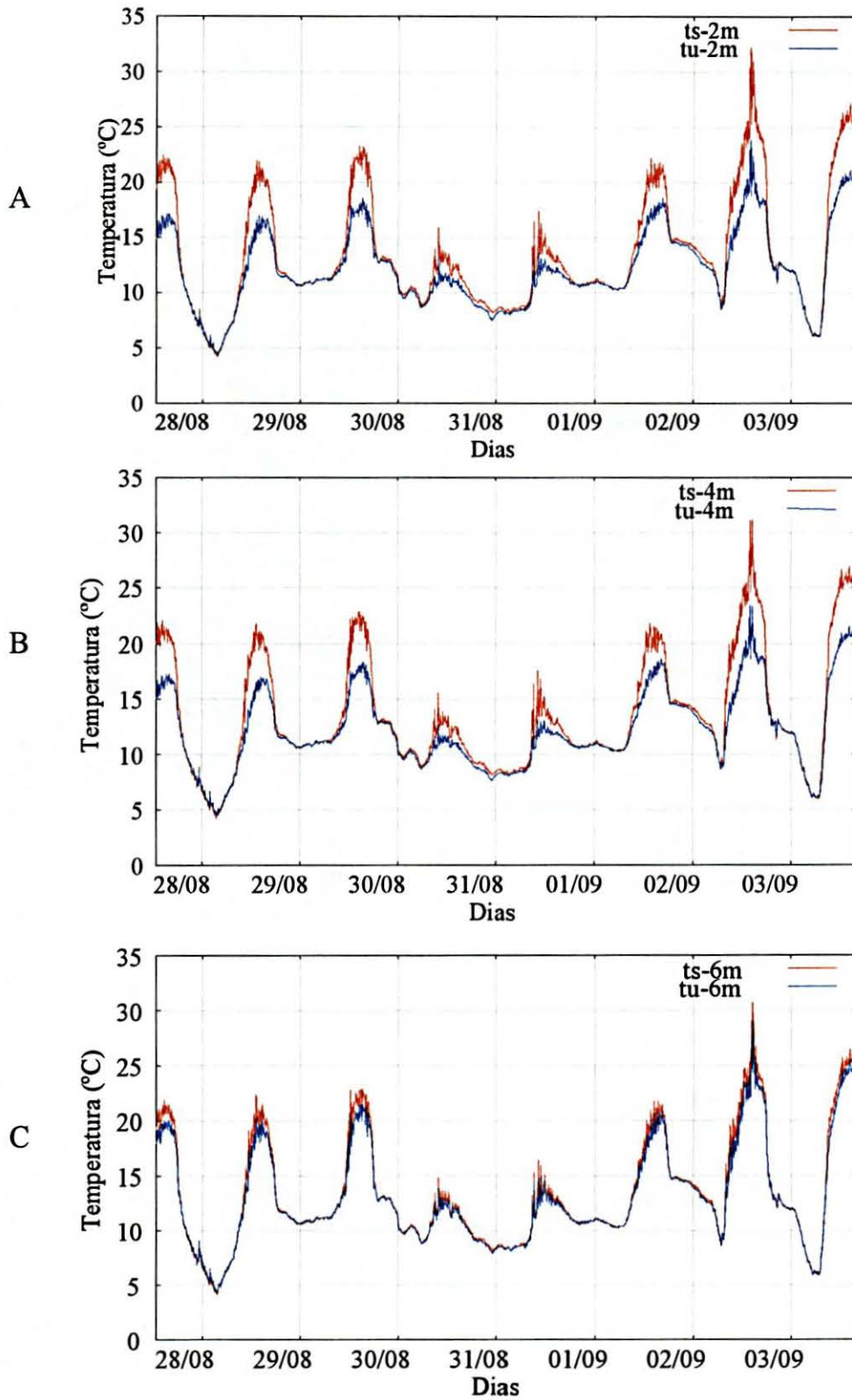
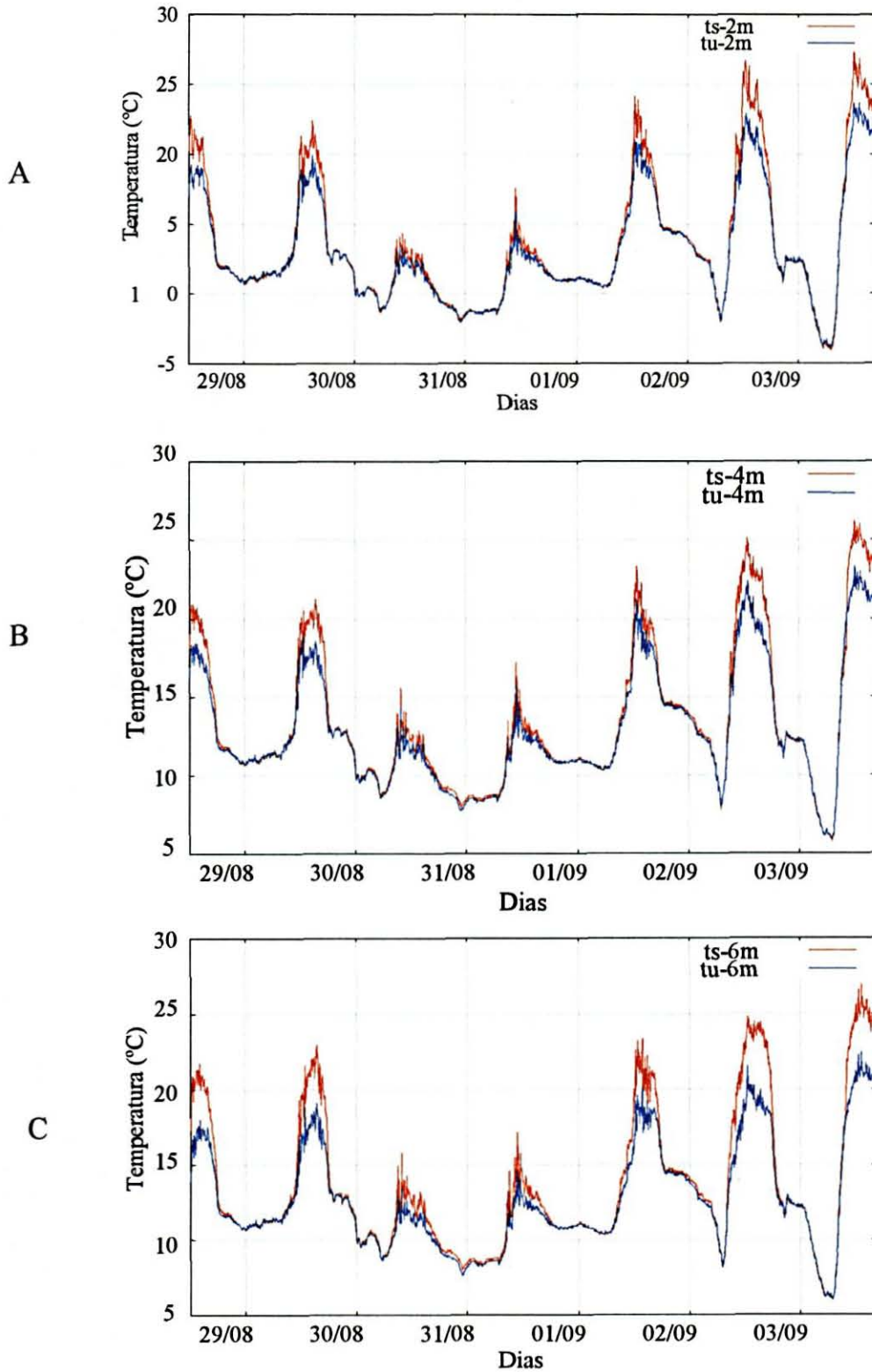


FIGURA 14. TEMPERATURAS DE BULBO SECO (T_s) E ÚMIDO (T_u), OBTIDAS NA ÁREA COM BRACATINGA, DE 28/08 A 04/09 A TRES ALTURAS: A – 2 m; B – 4 m; C – 6 m.



Para a área desmatada, os valores diferenciais de T_s e T_u se equivalem para as alturas de 2 e 4 m, havendo porém uma diminuição do gradiente diferencial a 6 m. de altura, mostrando que a partir desta altura, mais distante da fonte evaporativa, há uma maior diluição da umidade e conseqüente mistura das propriedades. Em termos de temperaturas T extremas, quando se compara a marcha diária, não há diferença entre as alturas no gradiente medido. Porém para T_u , a amplitude térmica é maior quanto mais se eleva do solo, mostrando que há uma diminuição da umidade.

Para a área coberta com bracatinga a amplitude T_s a 2 m foi maior que a 4 ou 6 m (similares entre si), para os dias 02, 03 e 04, sendo que as temperaturas máximas coincidiram. Já para T_u , as máximas foram maiores para 2 m diminuindo gradativamente em direção a 6 m de altura. As temperaturas mínimas de T_u permaneceram idênticas para os três níveis.

As diferenças entre T e T_u foram maiores a 6 m, mostrando um déficit de saturação e portanto uma menor umidade relativa,

Para a área de bracatinga é importante salientar que, após uma chuva como a observada no dia 03/10, houve uma variação de T_u em relação a T_s (Figura 15). O perfil mostra um diferencial a 2 m, uma equivalência a 4 m, indicando saturação de umidade e novamente um diferencial a 6 m. Estas medidas do perfil coincidem com o aumento da massa vegetativa da bracatinga.

Diversos autores (CHANG, 1958; ROSE, 1969; MONTEITH, 1973; ROSEMBERG, 1974; ALLEN e LEMON, 1976) mostraram que houve uma variação da umidade relativa ao longo de um perfil de temperatura nas diferentes superfícies vegetadas, evidenciando um aumento de umidade na altura do dossel.

A Figura 16 mostra o comportamento de T_s e T_u para a mesma data, porém em área desmatada. Houve um diferencial entre T_s e T_u sendo similares para 2 e 4 m, indicando um déficit de saturação, porque a pressão parcial de saturação de vapor (e_s), que é função de T , aumenta com a temperatura (PEREIRA *et al.* 1996).

FIGURA 15. TEMPERATURAS DE BULBO SECO (T_s) E ÚMIDO (T_u) OBTIDAS NA ÁREA COM BRACATINGA, DE 03/10 A 09/10 A TRÊS ALTURAS: A – 2 m; B – 4 m; C – 6 m.

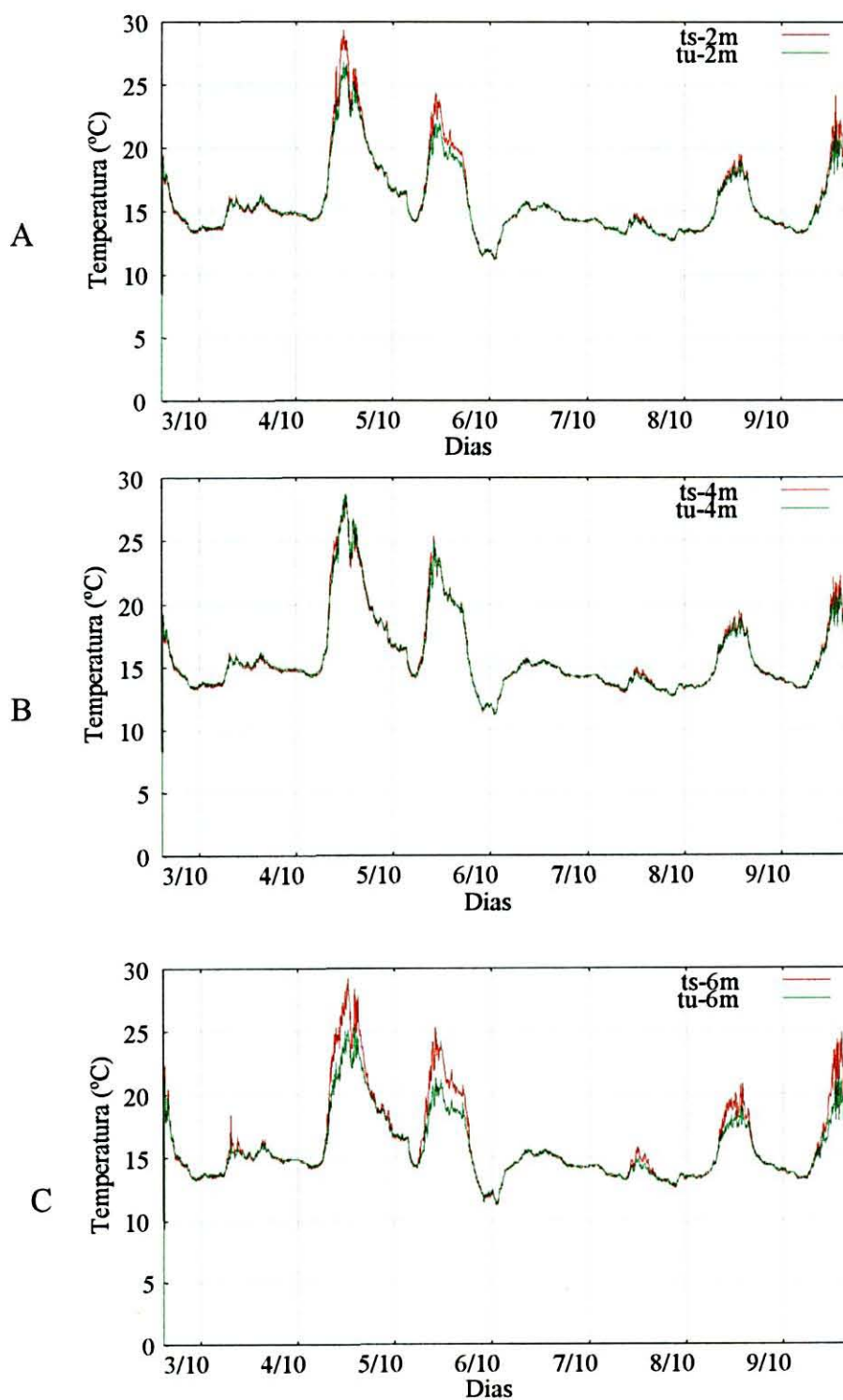
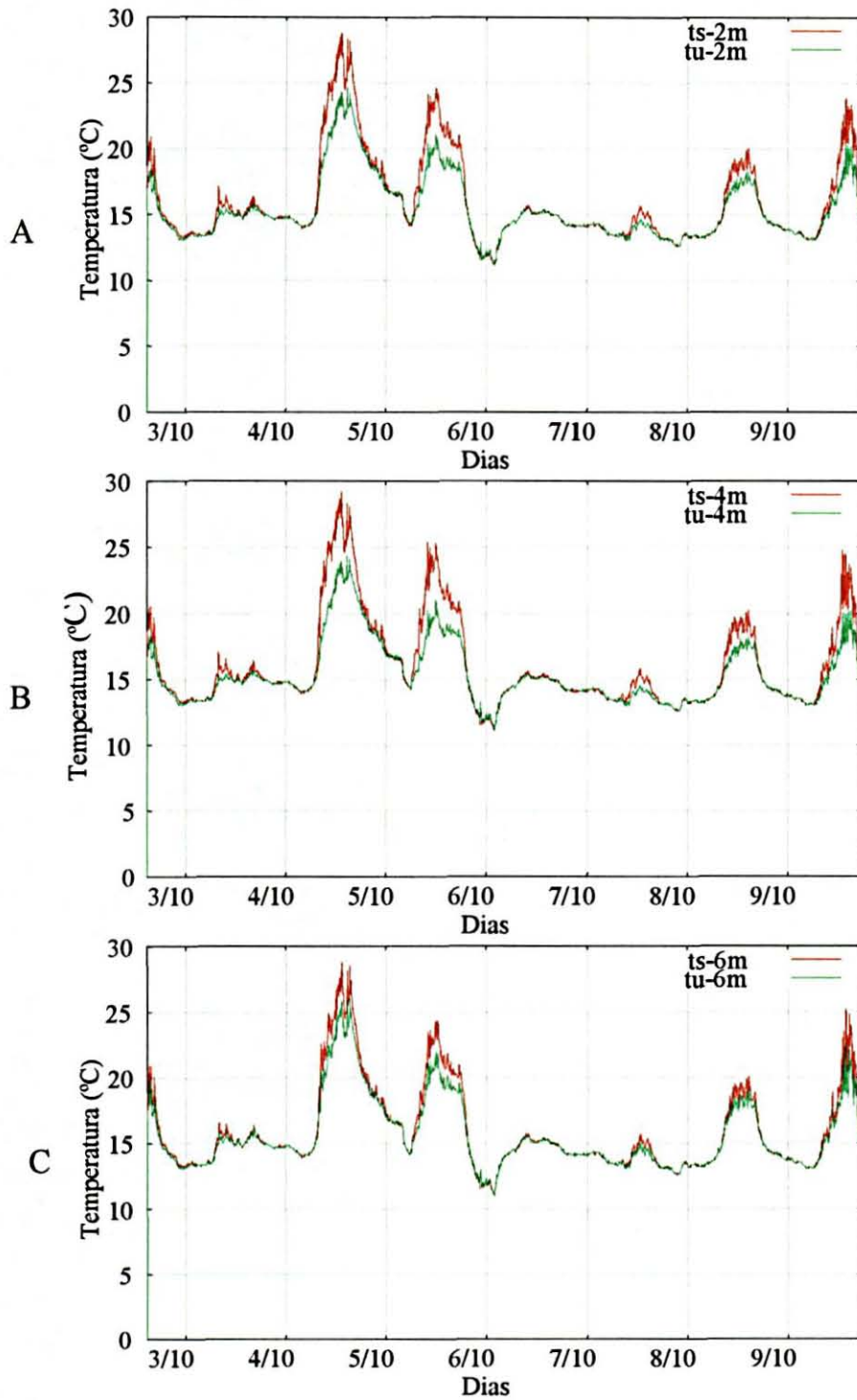


FIGURA 16. TEMPERATURAS DE BULBO SECO (T_s) E ÚMIDO (T_u), OBTIDAS NA ÁREA DESMATADA, DE 03/10 A 09/10 A TRÊS ALTURAS: A – 2 m; B – 4 m; C – 6 m.



Este déficit diminuiu a 6m, devido ao fluxo de ar mais saturado vindo de áreas adjacentes florestadas e pelas condições do ambiente estudado (pequeno “fetch”, topografia e vento dominante do quadrante N).

4.8 VARIAÇÃO DA RADIAÇÃO GLOBAL E REFLETIDA NOS AMBIENTES DESMATADO E FLORESTADO COM BRACATINGA

A radiação global (direta + difusa) para a área desmatada entre os dias 28/08 e 04/09 está representada na Figura 17. No dia 02/09 a radiação global atingiu um máximo de 1000 W.m^{-2} , havendo variações devido à nebulosidade e o tempo de coleta de dados, favorecendo a variabilidade de pontos, como a encontrada por DIAS *et al.* (1998). No primeiro dia de queima (02/09), houve um comportamento da curva bem mais uniforme em função de um dia claro sem nuvens. Devido à turbidez da atmosfera (partículas em suspensão), neste e no dia subsequente, os valores máximos permaneceram em torno dos 800 W.m^{-2} . Estes valores quando comparados com a radiação refletida (Figura 18), evidenciam um comportamento semelhante, embora com amplitude diferente.

FIGURA 17. RADIAÇÃO GLOBAL RECEBIDA (W.m^{-2}) NA ÁREA DESMATADA.

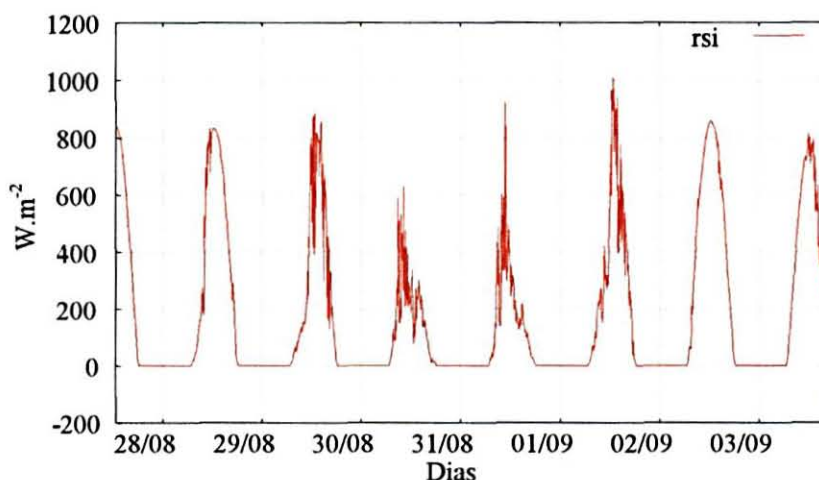
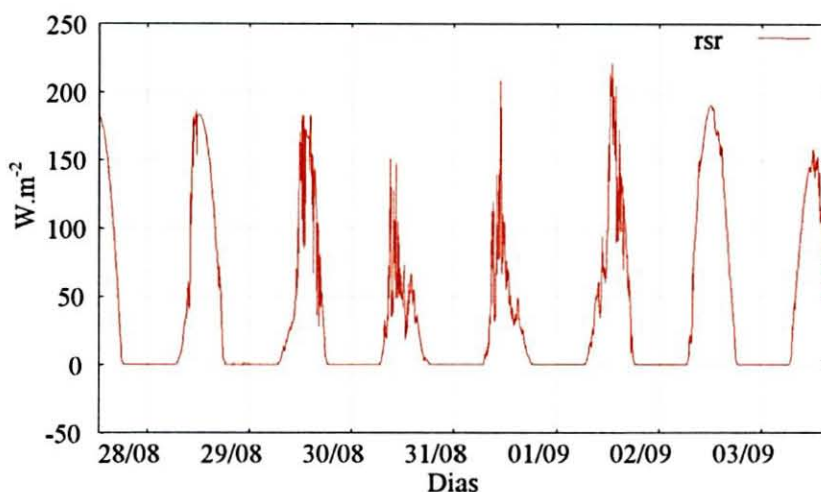


FIGURA 18. RADIAÇÃO GLOBAL REFLETIDA (W.m^{-2}), NA ÁREA DESMATADA.



Para o primeiro dia da queima, a radiação refletida atingiu valores máximos em torno de 180 w.m^{-2} e 150 w.m^{-2} para o dia subsequente, representando aproximadamente 22,5% da radiação global incidente. Estes valores máximos correspondem aos valores encontrados por DIAS *et al.* (1998) para uma superfície vegetada com soja em que a reflexão representou cerca de 22 % da radiação global incidente.

ROSEMBERG (1974) mostrou valores de 20 a 30% de reflexão para a maioria das culturas e 20 a 35% para solos orgânicos secos. LEE (1978) citou que o coeficiente de refletividade variou de acordo com a cobertura vegetal, sendo de 20% para campos, 30% para gramíneas mortas e secas e 25% para uma estepe seca.

Para a área florestada com bracatinga os valores máximos de radiação global incidente superaram os 800 w.m^{-2} nos dias 03 e 04/09 (Figura 19), sendo superiores aos da área aberta, provavelmente em função da interferência da vegetação de bracatinga em torno dos sensores e da topografia (morros).

Os valores de radiação global refletida atingiram um máximo de 113 w.m^{-2} e 110 w.m^{-2} para os mesmos dias (Figura 20), valores esses menores do que os da área aberta, pela reflexão do dossel do bracatingal e pelos perfis com menor reflexão das folhas das copas das árvores. A reflexão de radiação global nos picos máximos, representou aproximadamente 12% da radiação global incidente.

FIGURA 19. RADIAÇÃO GLOBAL RECEBIDA (W.m^{-2}) NA ÁREA COM BRACATINGA.

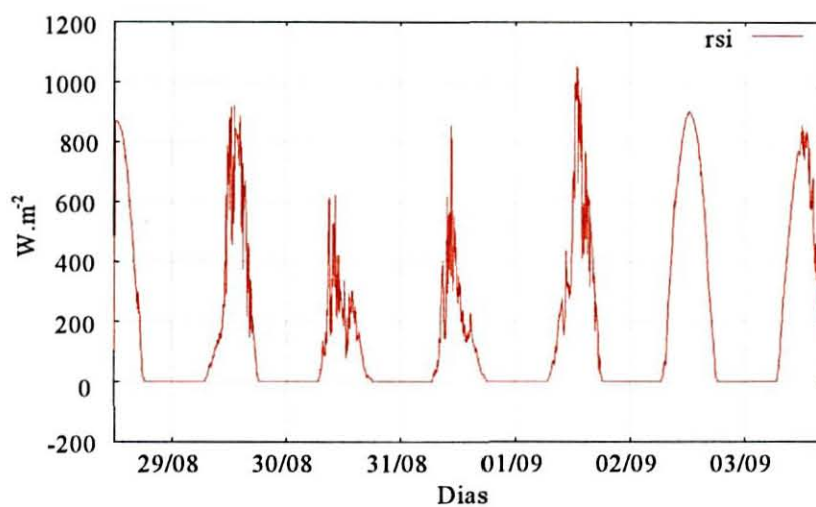
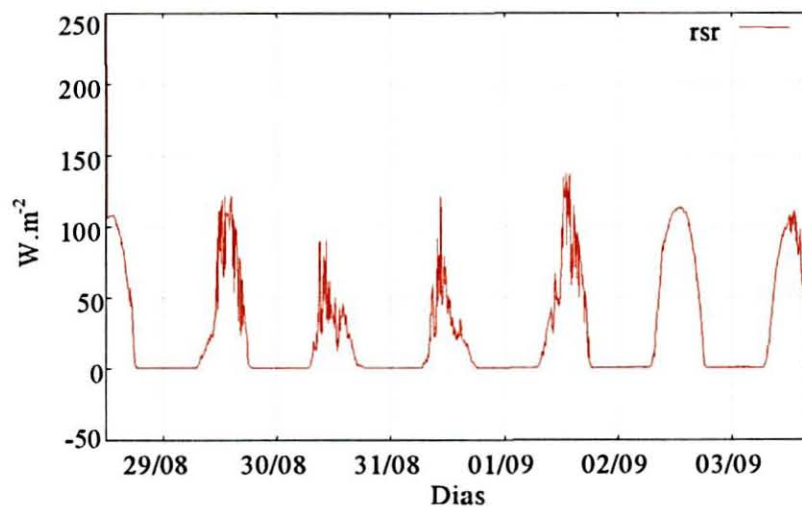


FIGURA 20. RADIAÇÃO GLOBAL REFLETIDA (W.m^{-2}) NA ÁREA COM BRACATINGA.



SEITZ (1976) cita que um bosque de Araucária absorveu e/ou refletiu cerca de 75% da radiação global incidente, e que chegou ao sub-bosque apenas 25% da mesma.

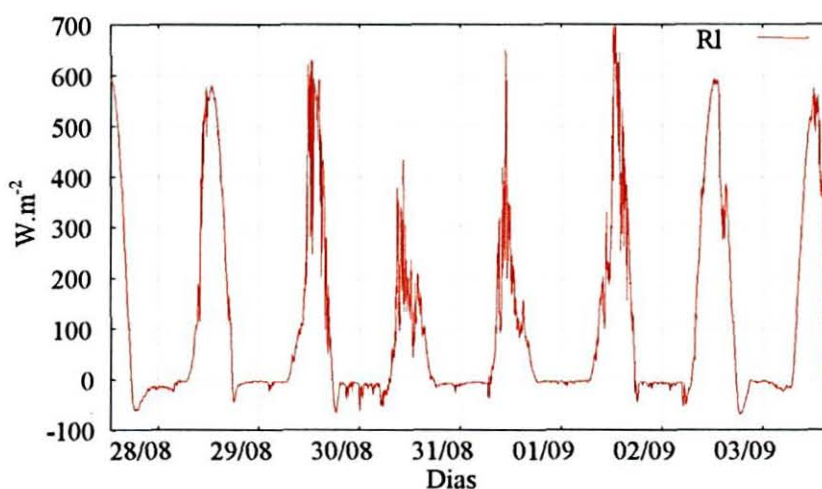
CESTARO (1988) obteve valores da ordem de 94% também para uma floresta de araucária. Estas medidas porém dizem respeito à parcela de radiação interceptada (absorvida ou refletida) ao longo do perfil e que ficou disponível à superfície do solo, não representando portanto a parcela refletida no topo do dossel.

4.9 RADIAÇÃO LÍQUIDA MEDIDA NAS ÁREAS DESMATADA E COM BRACATINGA.

A radiação solar que chega até uma superfície exposta e que não é refletida ou re-irradiada, pode ser definida como a radiação líquida (CHANG, 1971). Ela representa a diferença entre o fluxo de radiação que chega e o fluxo que é refletido.

A Figura 21 apresenta a radiação líquida recebida na área aberta, entre 28/08 e 04/09/98. Para os dias 01; 02 e 03, os máximos atingidos foram de 700; 590 e 575 $W.m^{-2}$, respectivamente, representando 70,0; 68,7 e 70,5% da radiação solar global incidente. Estes valores foram próximos daqueles obtidos por CHANG (1961) sobre cana-de-açúcar e EBERN (1965) sobre abacaxi, citados por CHANG (1971), para a latitude de $21^{\circ} 18' N$, no Hawai.

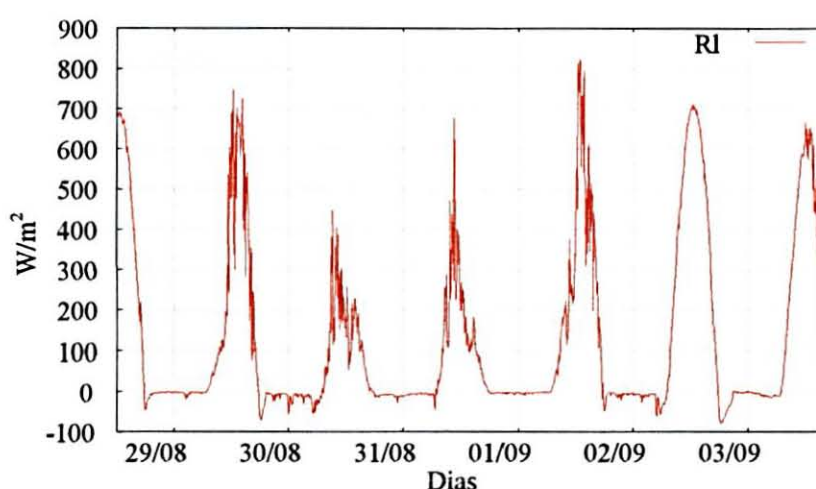
FIGURA 21. RADIAÇÃO LÍQUIDA ($W.m^{-2}$) NA ÁREA DESMATADA.



Como a radiação líquida decresce com a latitude do verão para o inverno, os valores aqui encontrados são mutáveis inclusive ao longo do dia, representando apenas 3 dias típicos de setembro.

Os valores da radiação líquida recebida na área coberta com bracatinga, para os mesmos dias estudados, são apresentados na Figura 22.

FIGURA 22. RADIAÇÃO LÍQUIDA ($W.m^{-2}$) NA ÁREA COM BRACATINGA.



Os valores máximos encontrados foram 826, 708 e 663 $W.m^{-2}$ para os dias 01; 02 e 03/09/98, respectivamente, resultando em 78,7; 78,1 e 77,4% da radiação global recebida. Este diferencial entre as áreas com bracatinga e desmatada, pode ser explicado, de acordo com LEE (1978), pelo maior fluxo de ondas curtas recebido pela floresta e pelo menor fluxo absoluto de ondas longas, ou seja, menor temperatura de superfície. Segundo este autor, como as florestas mantêm uma menor temperatura de superfície durante o dia, é explicada a grande habilidade destas em dissipar a energia absorvida.

A maior quantidade de energia disponível na área com bracatinga, teve implicações no balanço de energia como um todo, resultando por exemplo, num maior fluxo evaporativo que atenuou as temperaturas extremas.

PEREIRA *et al.* (1996) mostraram que o saldo de radiação ou radiação líquida é função do poder refletor da superfície e do balanço de radiação de ondas longas. A representação da radiação líquida (R_n) ficou então:

$$R_n = OC\downarrow(1 + r) + (OL\downarrow - OL\uparrow), \text{ onde:}$$

$OC\downarrow$ - radiação de ondas curtas que chegam à superfície;

r - refletividade da superfície ou albedo;

$OL\downarrow$ - radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera e que chegam à superfície;

$OL\uparrow$ - radiação de ondas longas emitidas pela superfície.

Portanto como $OL\uparrow$ sobre a floresta de bracatinga foi menor do que $OL\uparrow$ sobre a área aberta, resultou num R_n maior para a área florestada. Há de se considerar que r foi diferente para ambas as situações.

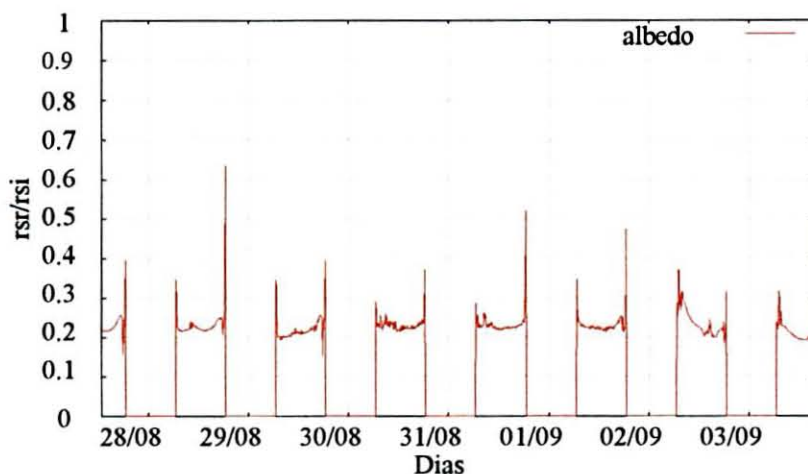
4.10 DETERMINAÇÃO DO ALBEDO NAS ÁREAS DESMATADA E FLORESTADA COM BRACATINGA

O albedo de uma superfície, por definição é a razão entre a radiação solar refletida (R_{sr}) e a radiação solar incidente (R_{si}) sobre uma superfície, podendo ser representada por

$r = \frac{R_{sr}}{R_{si}}$. Os resultados obtidos do albedo na área descoberta, são apresentados na

Figura 23.

FIGURA 23. ALBEDO (r) MEDIDO NA ÁREA DESMATADA.



O albedo médio variou de 0,21 (20,92%) a 0,23 (23,74%) entre os dias 27/08 e 03/09. A variabilidade dos valores ao longo de um dia, pode ser atribuída à arquitetura das folhas mudando a sua reflexão com o vento e com o ângulo zenital. Cabe salientar que, embora fosse a área aberta, haviam muitas herbáceas e brotações de tocos de árvores do secundário vegetando sobre o solo.

SONG (1998), em seu estudo sobre a assimetria do albedo, observou que este era maior de manhã do que à tarde, havendo um mínimo após o pôr do sol. Nas condições ambientais havia um forte componente que era um vento do leste, fazendo com que as folhas do dossel tombassem para oeste. Ele observou também que não existiu uma variação simétrica clássica do albedo associada com a variação do ângulo zenital durante o dia. O autor observou ainda que as gotas de orvalho no início das manhãs, bem como a própria reflexão das nuvens nos grandes ângulos zenitais, interferiram nos albedos.

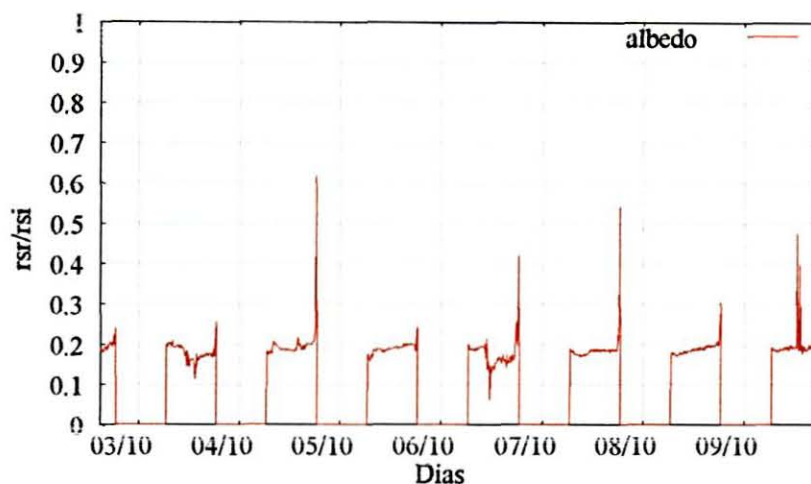
Estes dados quando confrontados com DIAS *et al.* (1998) mostraram que os valores tenderam ao ∞ nos extremos dos dias, sendo mínimos por volta das 15 horas. Os autores encontraram valores de 0,30 ao amanhecer, 0,22 às 15:00 h e 0,65 ao pôr do sol. Esses valores são parecidos com os obtidos no dia 29/08 para a área aberta (Figura 23).

GIELOW *et al.* (1999) encontraram valores de albedo da ordem de 0,22, medidos sobre gramínea alta intercalada com árvores esparsas da região do pantanal. Segundo BRUTSAERT (1982), o albedo de uma plantação pode ter um valor médio de 0,15 a 0,25.

Com a passagem do fogo no dia 02/09, houve um decréscimo no albedo, função provável da fumaça formada por volta das 14:00 h e que se estendeu de forma incerta até o fim da tarde, contribuindo para a variabilidade encontrada no albedo deste dia. Visivelmente no dia 03/09, quando se processou a 2ª etapa da queima, os valores do albedo decresceram em função da mudança da reflexão da superfície, coberta em grande parte por cinza e carvão.

Os resultados das medições feitas na área aberta no período de 03 a 09/10 (Figura 24), mostraram que estes valores decresceram atingindo um valor médio de 0,20 para todos os dias medidos.

FIGURA 24. ALBEDO (r) MEDIDO NA ÁREA DESMATADA, ENTRE 03/10 E 09/10/1998

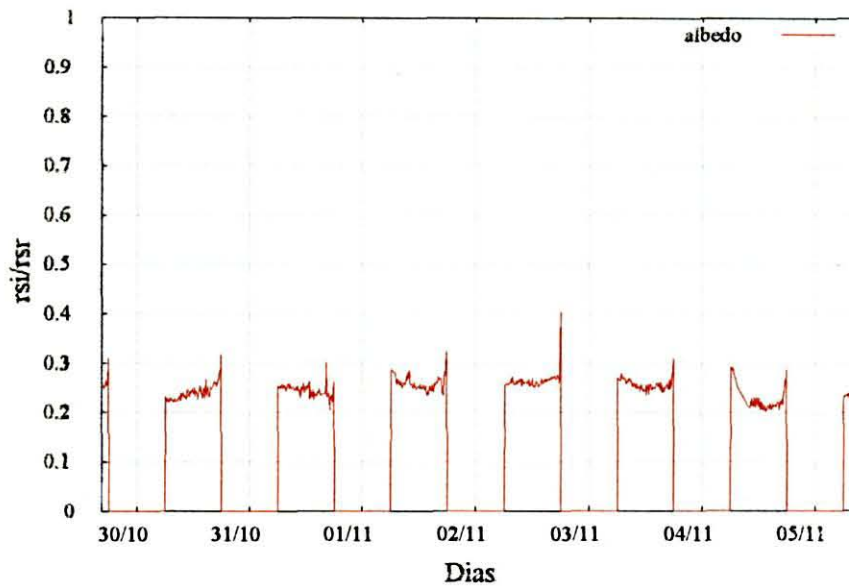


DIAS *et al.* (1996) encontraram valores ainda mais baixos, 27 dias após a passagem do fogo, atingindo valores médios de 0,17 em campo limpo de cerrado. Para o campo sujo, o albedo decresceu para um valor médio de 0,08, logo após a passagem do fogo.

Cabe salientar que 30 dias após a passagem do fogo na área em estudo, já havia a rebrota de tocos de espécies nativas bem como brotações de herbáceas e lianas além da germinação da própria bracatinga. Estimou-se em cerca de 20% a cobertura verde sobre a área de cinzas e carvão.

Os valores de albedo tornaram a crescer quando medidos aproximadamente 60 dias após a queima (Figura 25), em que a cobertura vegetal se completou, cobrindo praticamente todo o solo. A média do albedo entre os dias 30/10 e 05/11 ficou em 0,24, estando portanto dentro da faixa de valor médio entre 0,15 e 0,25 (BRUTSAERT, 1982), e um pouco abaixo das encontradas por DIAS *et al.* (1998), sobre uma cultura de soja.

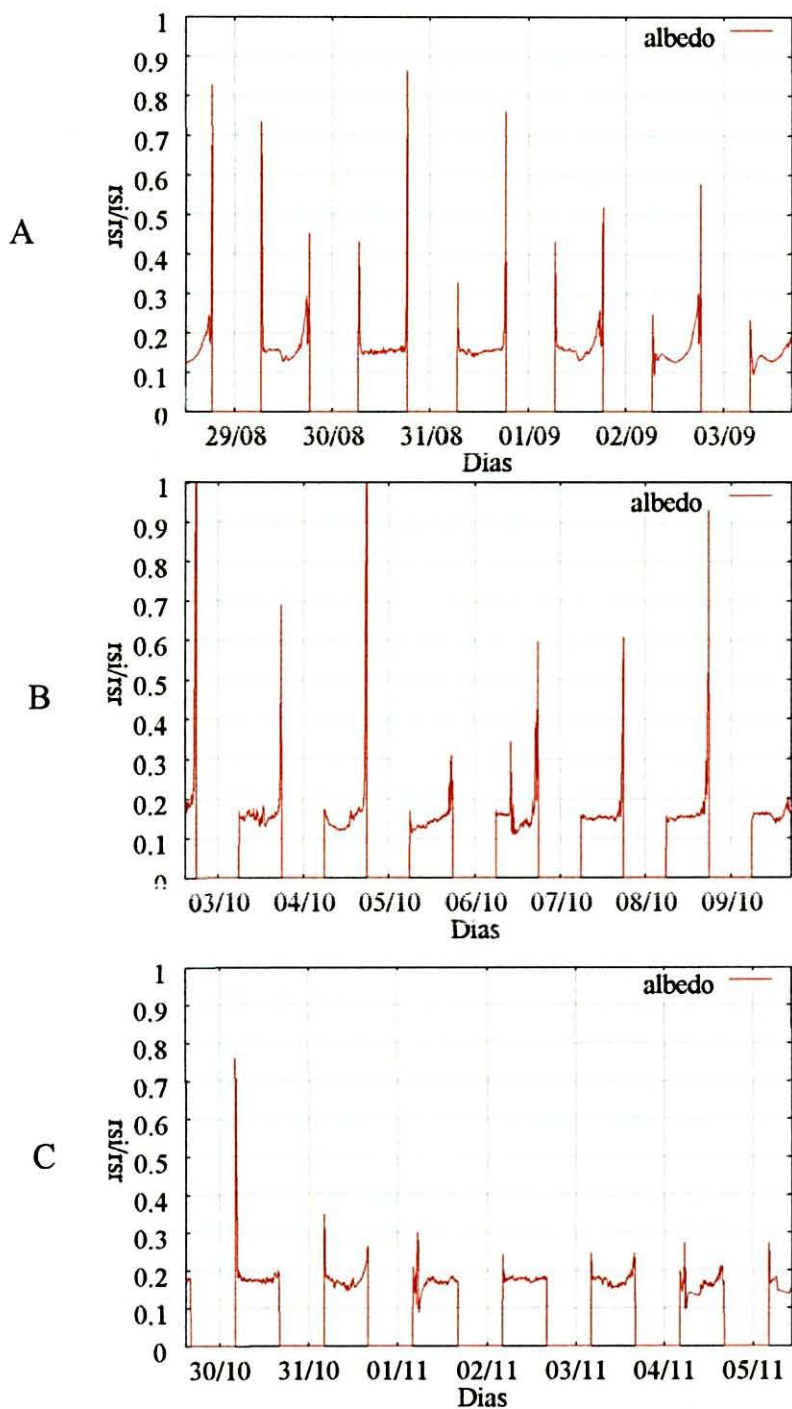
FIGURA 25. ALBEDO (r) MEDIDO NA ÁREA DESMATADA, ENTRE 30/10 E 05/11/1998



Para a área coberta com bracatinga, o valor médio do albedo entre os dias 28/08 e 03/09 (Figura 26a) , ficou em 0,16, indicando uma menor refletividade ao fim do dia, em função do maior ângulo zenital e conseqüentemente menor penetração da luz no dossel. Entre os dias 03 e 09/10 (Figura 26b), os valores médios cresceram ficando em 0,19, decrescendo para 0,1745 entre os dias 30/10 e 05/11 (Figura 26c).

ROSE (1971) determinou valores de 0,18 para florestas, enquanto que MONTEITH (1973) encontrou valores de 0,16 a 0,19 para florestas de *Eucalyptus* e ROSEMBERG (1978) 0,10 a 0,15 para florestas de coníferas.

FIGURA 26. ALBEDO (ρ) MEDIDO NA ÁREA COM BRACATINGA NOS PERÍODOS 28/08 E 04/09 (A), 03 E 09/10 (B), 30/10 E 05/11/1998 (C).



O termo albedo tem sido usado geralmente para denotar a refletividade do total da radiação do espectro visível. Para eliminar esta confusão, MONTEITH (1959) sugeriu que o albedo fosse usado exclusivamente para a luz visível e o termo coeficiente de reflexão para a radiação total de onda curta. No caso dos piranômetros, o espectro por eles abrangidos englobam além da luz visível, uma parte das ondas do infravermelho (1.100nm) (CAMPBELL SCIENTIFIC, 1982).

Segundo CHANG (1971), em geral o albedo visível de uma vegetação é menor que o seu coeficiente de reflexão total. Contudo vários trabalhos consultados (DIAS *et al.* 1996; Dias *et al.* 1998; GIELOW *et al.* 1999) utilizaram tubos solarímetros e piranômetros para as medidas de radiação global e refletividade para o cálculo do albedo. Assim os resultados aqui definidos foram função das medidas globais obtidas com piranômetros na posição normal e invertida.

4.11 DETERMINAÇÃO DOS FLUXOS DE ENERGIA NA ÁREA ABERTA

Os fluxos de radiação líquida (R_n), fluxos de calor no solo (G), fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) são apresentados na Figura 27 .

A análise de um dia típico ensolarado (28/08/98), mostrou que 80,9% da energia recebida foi transformada em fluxo de calor latente, 11,6% foram gastos para o fluxo de calor sensível e 7,4% foram gastos no fluxo de calor no solo (Tabela 10).

Para este dia, a razão de Bowen média ficou em 0,48. Estes valores, quando comparados com os obtidos por BAUNGARTNER (1956), mostraram bastante similaridade. Salienta-se que os dados deste autor se referem a um período compreendido entre 11:00 e 14:00, portanto de maior radiação líquida. Quando se analisa um dia inteiro, além da bordadura (fetch) que afetaram as forças convectivas, a velocidade do vento que foi variável durante o dia, alterou o transporte das propriedades e mudou, conseqüentemente, o comportamento dos fluxos e a própria razão de Bowen. LEE (1978) mostrou que o coeficiente de transferência turbulenta aumentou proporcionalmente a raiz quadrada da velocidade do vento (de 10 a 30 $mly.min^{-1} . ^\circ C$ para velocidades de vento aumentando de 1 para 10 $m.s^{-1}$).

FIGURA 27. FLUXOS DE RADIAÇÃO LÍQUIDA, CALOR NO SOLO, CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE, ENTRE OS DIAS 28/08 E 04/09/1998.

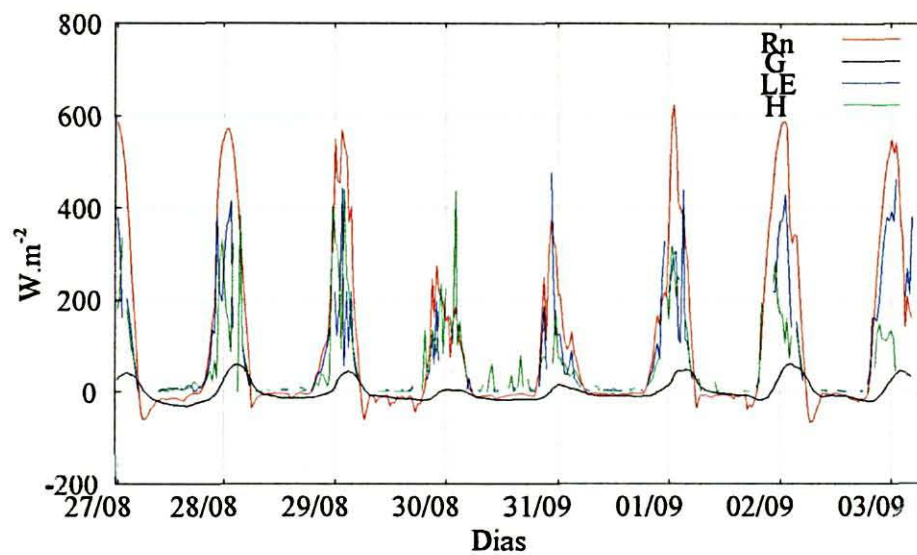


TABELA 10. FLUXOS DE ENERGIA DURANTE O DIA 28/08/1998, NA ÁREA DESMATADA.

HORA	R _n	G	LE	Bowen	H
730	9.13	-24.82	17.96	0.89	15.99
800	26.59	-23.15	28.12	0.77	21.61
830	63.01	-21.09	48.76	0.72	35.34
900	110.5	-18.07	79.59	0.62	48.99
930	165.78	-13.82	144.57	0.24	35.03
1000	216.21	-8.72	154.97	0.45	69.97
1030	443.05	-3.44	394.31	0.13	52.18
1100	571.86	5.3	285.28	0.99	281.28
1130	636.99	16.84	314.1	0.97	306.06
1200	660	29.23	379.38	0.66	251.38
1230	679.67	40.76	452.27	0.41	186.64
1300	684.11	51.25	470.4	0.35	162.46
1330	665.17	59.56	489.83	0.24	115.78
1400	626.83	66.06	246.17	1.28	314.6
1430	575.44	69.57	2026.8	-0.75	-1520.9
1500	504.07	71.03	468.05	-0.07	-35.01
1530	422.93	70.42	36.52	8.65	315.99
1600	334.07	66.42	157.79	0.7	109.86
1630	236.3	60.93	103.92	0.69	71.45
1700	172.23	52.69	66.26	0.8	53.28
1730	88.17	42.42	23.42	0.95	22.33
Soma	7892.11	589.37	6388.4	19.69	914.33
Média	375.815	28.065	304.21	0.4805	43.54

Para a radiação líquida, os dias 30/08/98 (Tabela 11) e 31/08/98 (Anexo 5), mostraram uma variabilidade no fluxo de radiação durante o dia, indicando a presença de vários tipos de nuvens (alto stratus, nimbus stratus, alto cúmulus e cirrus – IAPAR, 2000). A radiação líquida, em algum momento foi superada pelos fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H), em valores absolutos, indicando que o sistema solo-planta perdeu mais energia do que ganhou. A forte advecção provocada pelos ventos frios e secos do quadrante SE, provocaram a perda de calor pelos fluxos analisados. Durante toda a manhã do dia 30/08, houve um fluxo de calor do solo direcionado para a superfície demonstrando perda de energia do solo em direção à atmosfera, como mostra a Tabela 11. A participação de energia líquida média recebida entre as 7:30 e 17:30 horas, foi de $148,77 \text{ W.m}^{-2}$ e houve uma perda de energia do solo para a atmosfera da ordem de $-3,55 \text{ W.m}^{-2}$ ou seja, 2,38%, indicando um esfriamento do solo. A evaporação consumiu $100,20 \text{ W.m}^{-2}$ (67,35%) e $52,12 \text{ W.m}^{-2}$ (35,03%) foram para o fluxo de calor sensível ou o aquecimento do ar. A razão de Bowen (β) média ficou em 0,76.

Os valores da razão de Bowen extrapolaram os valores entre 0 e 1, mostrando que a convecção excedeu a evaporação em uma grande magnitude, evidenciada pela razão entre H e LE.

LEE (1978) afirma que sobre uma superfície de solo seco, a convecção excedeu a evaporação por uma ordem de magnitude grande, elevando o valor de β . Por outro lado, sobre uma superfície com rápida evaporação, há um aumento de LE em relação a H, fazendo o valor de β diminuir.

A Tabela 12 mostra a quantidade de fluxo, em percentagem, em relação à radiação líquida recebida entre 27/08 e 03/09/98.

TABELA 11. FLUXOS DE ENERGIA DURANTE O DIA 30/08/1998, NA ÁREA DESMATADA.

HORA	R_n	G	LE	Bowen	H
730	5.47	-22.11	122.01	-0.77	-94.43
800	50.65	-21.17	29.76	1.41	42.06
830	89.24	-19.39	55.97	0.94	52.66
900	261.19	-16.84	148.78	0.87	129.25
930	205.45	-12.79	97.83	1.23	120.41
1000	307.97	-8.78	222.17	0.43	94.58
1030	268.86	-3.4	129.89	1.1	142.37
1100	247.26	0.83	51.68	3.77	194.75
1130	228.31	3.43	124.93	0.8	99.95
1200	191.15	4.99	57.57	2.23	128.59
1230	198.11	5.5	1074.7	-0.82	-882.09
1300	107.55	5.42	-84.13	-2.21	186.26
1330	168.32	3.5	43.74	2.77	121.08
1400	212.32	3.01	-53.16	-4.94	262.47
1430	187.45	3.91	74.59	1.46	108.95
1500	137.28	4.37	9.77	12.6	123.14
1530	115.4	3.43	12.05	8.3	99.92
1600	82.32	1.65	5.1	14.82	75.57
1630	42.68	-0.69	10.46	3.15	32.92
1700	13.15	-3.39	-32.21	-1.51	48.75
1730	3.97	-6.2	2.75	2.69	7.42
Soma	3124.1	-74.72	2104.3	48.32	1094.6
Média	148.77	-3.5581	100.2	0.76	52.123

Os valores de *LE* e *H* sofreram variação muito grande em alguns horários, o que mostra uma grande dispersão de pontos, quando analisados a cada meia hora.

TABELA 12. QUANTIDADE DE FLUXO, EM PORCENTAGEM, EM RELAÇÃO À RADIAÇÃO LÍQUIDA RECEBIDA ENTRE 27/08 E 03/09/1998.

DATA	R_n	G	LE	Bowen	H
27/ago	100	9.78	38.97	-0.56	51.23
28/ago	100	7.63	58.45	0.57	33.92
29/ago	100	6.3	40.68	1.12	53.09
30/ago	100	-2.28	17.81	-0.8	84.47
31/ago	100	1.32	83.6	-0.006	18.82
01/set	100	8.36	54.39	0.044	37.24
02/set	100	7.91	20.71	0.4	71.37
03/set	100	4.88	124.44	0.028	-29.38

Nestes momentos a razão de Bowen, seja pela mudança da direção do vento e intensidade, seja pela inversão da turbulência, pela pequena bordadura e topografia desuniforme, ou pelo conjunto de todos eles, fez com que os valores extrapolassem os limites de validade da teoria. Lembrando que quando a razão de Bowen se aproxima de -1 , o cálculo dos fluxos tende ao infinito, situação que ocorre geralmente à noite, quando há mínimos fluxos de $R_n - G$ (fluxo de calor no solo). Quando a razão de Bowen (β) tende a zero, LE é máximo e o balanço de energia se reduz a: $LE = R_n - G$ (BERLATO e MOLION, 1981).

Na média do dia, desconsiderando os dados extremos, os valores tornam-se coerentes com a bibliografia. MUNRO (1985), fazendo uma análise de consistência da razão de Bowen na estimativa dos fluxos, afirmou que as grandes mudanças observadas em β em alguns dias podiam ser atribuídas à distribuição espacial das fontes de calor e vapor d'água. Ele afirmou que embora houvesse uma fraca similaridade entre a radiação líquida e β , devia ser observado que em superfícies vegetadas onde a fonte de energia de vapor era fortemente controlada pelo comportamento estomatal, havia uma troca de vapor ao longo do tempo. Por outro lado o mesmo autor afirma que muitos dias não foram considerados porque "não apresentaram dados que fossem úteis por causa das condições adversas de tempo". Portanto os dias com alta nebulosidade, chuva ou ventos muito fortes, alteram a

magnitude dos fluxos, produzindo valores sem significado. As Tabelas 13 e 14 apresentam um resumo da partição de energia média ao longo de cada dia estudado.

TABELA 13. FLUXOS DE ENERGIA DURANTE O DIA 04/10/1998, NA ÁREA DESMATADA.

HORA	R _n	G	LE	Bowen	H
610	-0.61	-5.25	2.39	0.94	2.25
640	13.85	-5	12.73	0.48	6.12
710	58.06	-4.45	45.9	0.36	16.61
740	121.16	-2.91	47.9	1.59	76.17
810	221.88	-0.37	-329.23	-1.68	551.48
840	374.33	2.37	369.53	-0.9	-319.53
910	482.37	6.5	216.95	1.19	258.92
940	546.3	12.61	303.15	0.76	230.54
1010	640.27	19.81	412.95	0.5	207.52
1040	707.19	28.12	427.86	0.59	251.21
1110	702.15	36.01	427.99	0.56	238.15
1140	799.62	42.42	538.2	0.41	219.01
1210	818.47	48.31	553.02	0.39	217.14
1240	823.56	53.84	561.53	0.37	208.2
1310	749.39	59.55	475.72	0.45	214.12
1340	598.82	63	792.98	-0.32	-257.17
1410	222.11	61.36	82.17	0.96	78.58
1440	293.84	52.61	-32.5	-8.42	273.73
1510	343.24	48.66	269.92	0.09	24.66
1540	359.29	49.84	274.04	0.13	35.41
1610	233.21	49.35	160.17	0.15	23.7
1640	125.83	44.05	73.83	0.11	7.95
1710	64.83	36.69	-11.35	-3.48	39.48
1740	14.23	29.61	-8.27	0.86	-7.1
1810	-17.03	23.96	-30.86	0.33	-10.13
Soma	9296.4	750.69	5636.7	-3.58	2587
Média	371.85	30.028	225.47	0.4689	103.48

TABELA 14. FLUXOS DE ENERGIA DURANTE O DIA 05/10/1998, NA ÁREA DESMATADA.

HORA	R _n	G	LE	Bowen	H
610	-8.44	-14.05	3.24	0.73	2.37
640	-5.57	-14.35	4.79	0.83	3.99
710	29.32	-13.99	26.47	0.64	16.84
740	79.38	-12.89	57.18	0.61	35.09
810	208.75	-11	135.4	0.62	84.35
840	283.74	-8.38	172.91	0.69	119.21
910	394.09	-4.54	223.66	0.78	174.97
940	519.23	0.66	329.68	0.57	188.88
1010	704.51	8.28	467.8	0.49	228.42
1040	622.22	17.34	406.12	0.49	198.76
1110	748.25	22.77	496.6	0.46	228.88
1140	535.23	27.62	341.48	0.49	166.13
1210	548.2	29.21	338.32	0.53	180.68
1240	449.03	30.39	259.25	0.61	159.39
1310	316.11	29.32	179.64	0.6	107.15
1340	249.15	25.11	122.43	0.83	101.61
1410	247.49	21.2	544.95	-0.58	-318.66
1440	343.92	17.32	3134.5	-0.9	-2807.9
1510	235.97	16.13	100.15	1.2	119.69
1540	184.51	15.23	-234.88	-1.72	404.16
1610	161.95	13.64	86.5	0.71	61.81
1640	121.06	11.93	66.97	0.63	42.16
1710	85.57	10.09	769.07	-0.9	-693.59
1740	76.58	8.15	54.41	0.26	14.02
1810	12.94	6.22	5.67	0.18	1.05
Soma	7143.2	231.41	8092.3	8.85	-1180.5
Média	285.73	9.2564	323.69	0.6195	-47.22

A análise do dia 04/10/98, onde foi observada elevada radiação líquida (pico de $823,56 \text{ W.m}^{-2}$), mostrou que a partir das primeiras horas houve um aumento da velocidade do vento. O valor de R_n aumentou, elevando a taxa de evapotranspiração (evaporação do orvalho + transpiração), por ser um processo de aquecimento rápido. O fluxo de calor sensível se tornou negativo, causado pelo rápido esfriamento da superfície do dossel, fazendo com que houvesse um fluxo direcionado do ar para a superfície. Ao mesmo tempo o fluxo de calor no solo passou de negativo (esfriamento), para positivo, havendo um aquecimento daquele.

No dia 05/10/98, com ventos de 3 a 6 m.s^{-1} , o processo evaporativo foi grande, tendo também a advecção forçada apresentado um H alto em alguns horários, o que resultou um β de valor alto, conforme discutido por LEE (1978). À tarde, LE foi superior à radiação líquida, também em alguns horários, havendo absorção de energia pelo dossel, mostrando um β pequeno. A variabilidade de R_n e sua diminuição a partir das 13:00 horas, pode ser explicada pela presença de nuvens e sua passagem rápida sobre o sítio, alterando e dando os resultados variáveis de LE e H , e conseqüentemente a razão de Bowen. Apesar desta variabilidade, a maior velocidade do vento neste dia e maior R_n durante toda a manhã, fez com que a convecção exercesse uma influência grande sobre a evaporação, chegando a exceder esta, resultando numa razão de Bowen alta. Na média do dia a razão de Bowen ficou em $0,62$.

A presença de nuvens no dia 31/10/98 (Tabela 15), fez com que houvesse oscilações nos valores de R_n ao longo do dia. Tais flutuações se refletiram nos valores de LE e H . Entre os horários de 10:50 e 17:20 horas houve melhor distribuição de energia, período em que os valores de H foram elevados, indicando que o processo convectivo foi expressivo neste dia. Apenas dois horários (12:50 e 14:20) mostraram uma razão de Bowen extrema. No horário das 12:50 horas, a alta demanda evaporativa chegou a retirar energia do dossel, fazendo com que a temperatura deste baixasse mais que o ar ambiente. Segundo LEE (1978), estas condições são comuns quando há um dossel úmido, após a chuva. No presente estudo, pode-se supor que a advecção de áreas adjacentes tenha causado flutuações de umidade no gradiente, fazendo com que β se aproximasse de -1 e o denominador tendesse a zero, resultando num balanço de energia passível de grande erro, conforme BERLATO e MOLION (1981).

TABELA 15. FLUXOS DE ENERGIA DURANTE O DIA 31/10/1998, NA ÁREA DESMATADA.

HORA	RL	G	LE	Bo	H
550	3.38	-10.81	12.11	0.17	2.08
620	18.98	-10.51	34.26	-0.14	-4.77
650	51.4	-9.93	46.22	0.33	15.1
720	104.12	-8.89	99.28	0.14	13.73
750	167.07	-6.84	193.17	-0.1	-19.25
820	340.45	-4.04	197.09	0.75	147.4
850	219.94	0.26	109.95	1	109.73
920	262.66	3.57	-39.21	-7.61	298.3
950	352.31	6.81	178.12	0.94	167.38
1020	417.17	10.9	43.5	8.34	362.77
1050	443.33	14.9	282.71	0.52	145.71
1120	617.42	18.4	421.68	0.42	177.34
1150	655.39	24.52	439.76	0.43	191.11
1220	791.45	31.48	513.98	0.48	245.99
1250	431.26	38.86	426.61	-0.08	-34.2
1320	490.58	39.09	343.77	0.31	107.72
1350	613.66	38.86	439.63	0.31	135.17
1420	541.31	43.21	-291.5	-2.71	789.6
1450	523.54	45.05	352.4	0.36	126.09
1520	399.49	44.86	254.53	0.39	100.1
1550	415.45	42.02	261.68	0.43	111.75
1620	324.26	38.37	205.2	0.39	80.68
1650	224.68	32.75	132.05	0.45	59.88
1720	108.33	25.87	59.03	0.4	23.43
1750	9.33	18.73	-6.16	0.53	-3.25
Soma	8527	467.49	4709.9	6.45	3349.6
Média	341.08	18.7	188.39	0.4605	133.98

No horário das 14:20 horas, houve um alto valor de H em relação a LE , resultando num valor da razão de Bowen absurdo, sem representar o balanço dos fluxos. Nos demais horários, a oscilação de H/LE esteve dentro dos valores aceitáveis (entre 0 e 1), dando uma razão média de 0,46.

A área, apesar de ter uma bordadura de aproximadamente 300 m, não era plana e com topografia ondulada, o que mostrou ter limitações quanto à aplicabilidade da teoria. Porém, descontando-se os períodos de flutuações, a maioria das médias de leitura representaram a convecção local dos fluxos de energia.

4.12 AVALIAÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURAL

O levantamento botânico apresentou uma série de espécies herbáceas que primeiramente começaram a recobrir o solo, bem como algumas arbustivas e arbóreas e que estão relacionadas na Tabela 16.

Muitas dessas espécies tiveram seu crescimento incrementado a partir de rebrotas de cepas, bem como através de sementeira anemo ou zoocórica, já que os sítios sofrem pressão de áreas florestadas adjacentes. Este mosaico de pequenas áreas exploradas (geralmente até 5 ha), entre áreas recobertas com bracatingais ou vegetação natural, favorece o repovoamento florístico.

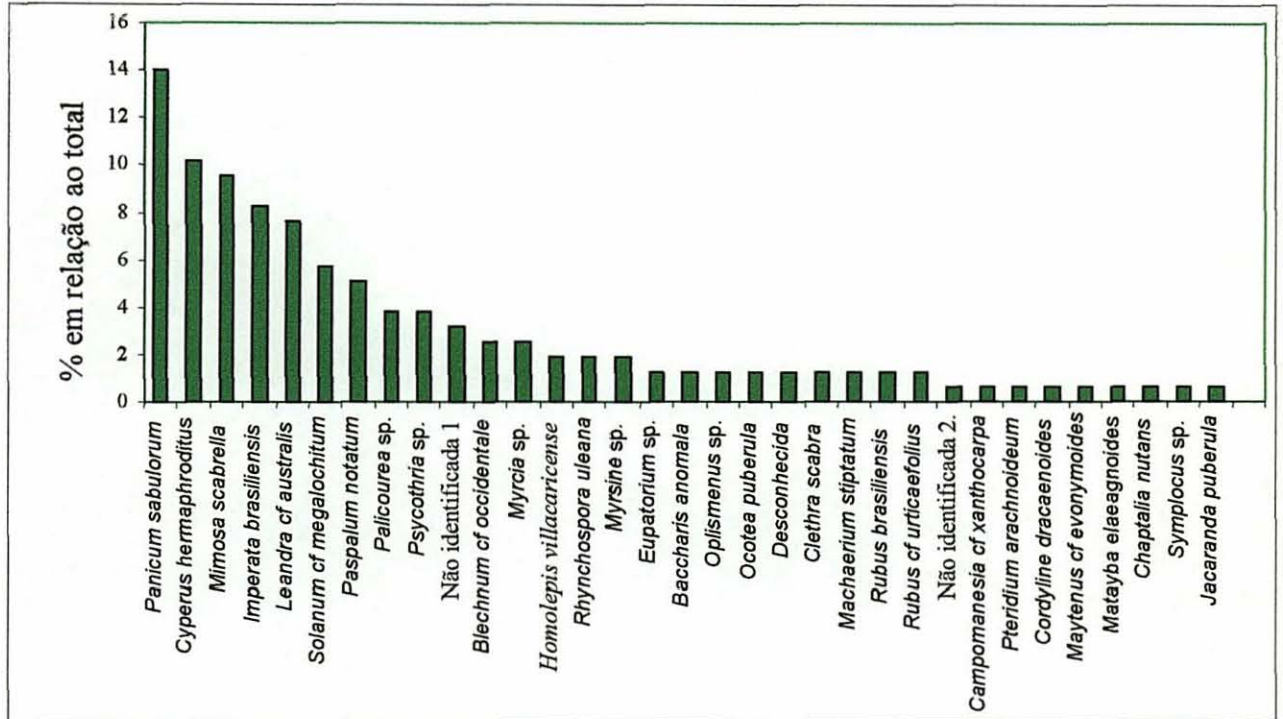
A análise de frequência relativa das espécies apresentada na Figura 28, mostra que as espécies *Panicum sabulorum* e *Cyperus hermaphroditus* apresentaram as maiores frequências, 14% e 10%, respectivamente. A bracatinga (*Mimosa scabrella*) aparece na terceira posição com uma frequência aproximada de 9,5%.

Quando se avaliou a cobertura relativa das espécies, as herbáceas dominaram a cobertura do solo (Figura 29). *Panicum sabulorum*, *Cyperus hermaphroditus* e *Paspalum notatum* apresentaram o percentual mais expressivo de cobertura. Dentre as arbustivas e/ou arbóreas, *Palicourea* sp, *Mimosa scabrella* e *Solanum megalochiton* foram as de maior percentual.

TABELA 16. LISTA DE ESPÉCIES ENCONTRADAS, AGRUPADAS POR FAMÍLIA, NAS PARCELAS AMOSTRADAS APÓS APROXIMADAMENTE 60 DIAS DO CORTE RASO DA BRACATINGA.

Família	Espécie
Agavaceae	<i>Cordyline dracaenoides</i> Kunth
Asteraceae	<i>Baccharis anomala</i> DC. Prodr <i>Chaptalia nutans</i> Hemsl. <i>Eupatorium</i> sp. Não identificada 1
Bignoniaceae	<i>Jacaranda puberula</i> Cham.
Blechnaceae	<i>Blechnum occidentale</i> L.
Celastraceae	<i>Maytenus evonymoides</i> Reissek.
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> Loisel.
Cyperaceae	<i>Cyperus hermaphroditus</i> Standley <i>Rhynchospora uleana</i> Kükenth.
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel. <i>Mimosa scabrella</i> Benth.
Lauraceae	<i>Ocotea puberula</i> Nees
Melastomataceae	<i>Leandra australis</i> Cogn.
Mimosaceae	Não identificada 2
Myrsinaceae	<i>Myrsine</i> sp.
Myrtaceae	<i>Campomanesia cf xanthocarpa</i> Berg <i>Myrcia</i> sp.
Poaceae	<i>Homolepis villaricense</i> (Mez) Zuloaga et Soderstrom <i>Imperata brasiliensis</i> Trin. <i>Oplismenus</i> sp. <i>Panicum sabulorum</i> Lam. <i>Paspalum notatum</i> Fluegge
Pteridaceae	<i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon
Rosaceae	<i>Rubus brasiliensis</i> Mart. <i>Rubus urticaefolius</i> Poir.
Rubiaceae	<i>Palicourea</i> sp. <i>Psychotria</i> sp.
Sapindaceae	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.
Solanaceae	<i>Solanum cf megalochiton</i> Mart.
Symplocaceae	<i>Symplocos</i> sp.

FIGURA 28. FREQUÊNCIA RELATIVA DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA ÁREA DESMATADA.

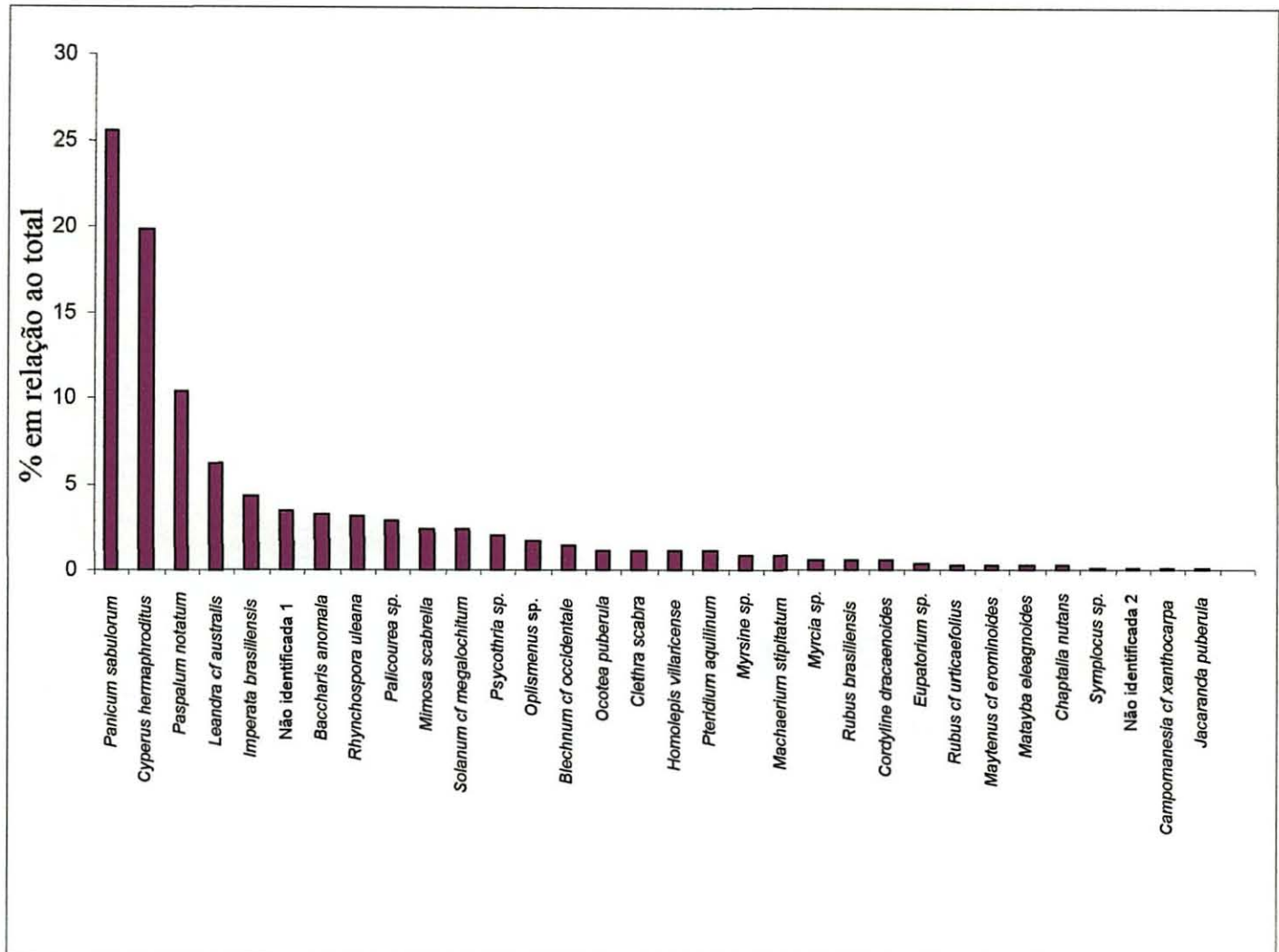


As famílias que apresentaram maior número de espécies foram *Asteraceae* e *Poaceae*, seguidas de arbustivas/ arbóreas *Myrtaceae* e *Rubiaceae*, completando um total de 20 famílias (Figura 30).

Na área estudada, além das espécies levantadas nas parcelas, detectou-se a presença de regeneração, a maioria através de brotação, de várias espécies arbóreas, mostrando que, mesmo após vários ciclos sucessionais de exploração agrossilvicultural (a cada 6 – 8 anos), houve regeneração de muitas espécies da floresta original.

Os resultados do levantamento arbóreo indicaram ainda que houve certa diversidade das espécies encontradas, quando comparados com outros trabalhos em áreas semelhantes (KLEIN, 1962; CARVALHO, 1981; BAGGIO *et al.* 1995) e que podem ser explicados, em parte, pela diferença de idade do repovoamento dos sítios estudados.

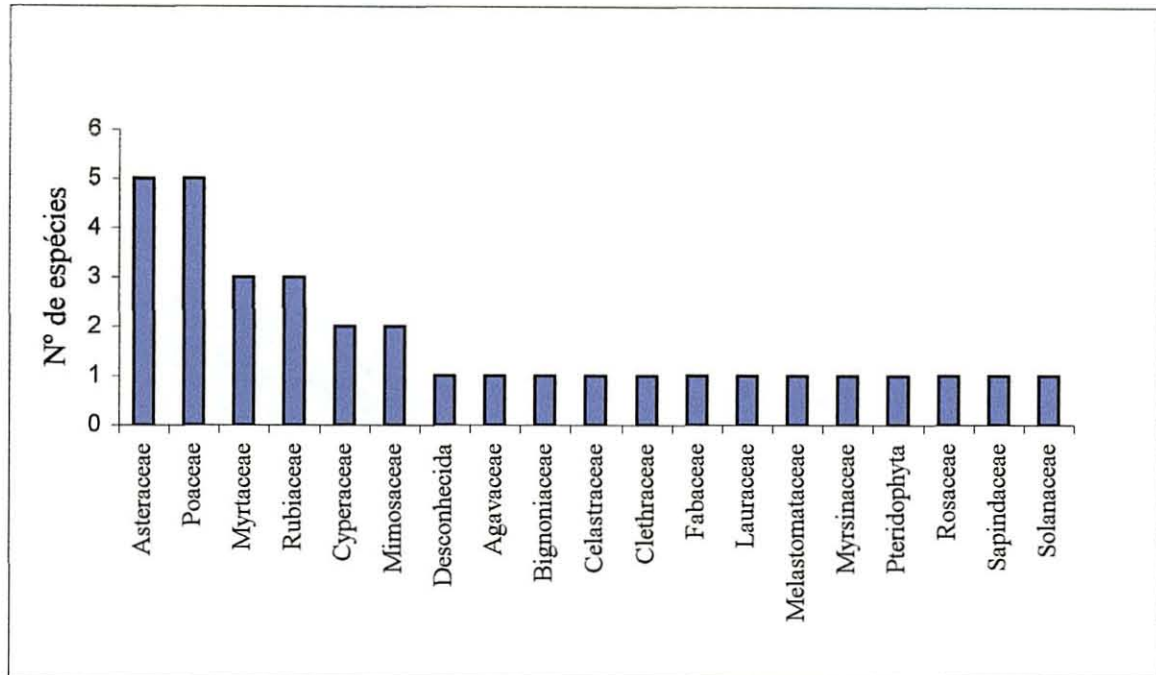
FIGURA 29. COBERTURA RELATIVA DAS ESPECIES AMOSTRADAS NA ÁREA DESMATADA.



Comparando-se os resultados com outros levantamentos efetuados, verificou-se que há variação de espécies entre os locais e que só um levantamento detalhado por micro-região pode dar um conhecimento real da distribuição dessas espécies.

BAGGIO *et al.* (1995) afirmaram que o uso anterior da terra, as condições ambientais específicas e a vizinhança de florestas naturais parecem ser os principais fatores determinantes das diferenças florísticas e estruturais encontradas entre sítios relativamente próximos. O estabelecimento das espécies nos sub-bosques ocorre pela brotação de tocos oriundos da floresta original e de germinação sementes introduzidas pelos agentes naturais de dispersão.

FIGURA 30. FAMÍLIAS COM MAIOR NÚMERO DE ESPÉCIES, AMOSTRADAS NA ÁREA DESMATADA.



Em relação às espécies herbáceas ocorreu uma maior diversidade. Isto pode ser explicado, em parte, “pela eficiente dispersão de propágulos, além do alto grau de adaptação na germinação e no desenvolvimento das espécies, em condições adversas como as encontradas nestas áreas” (KLEIN, 1962). Estas espécies tenderam diminuir, em termos de frequência e cobertura com o passar do tempo, devido à formação do dossel do bracatingal, o qual diminuiu a radiação solar. Segundo KLEIN (1962), o tempo de permanência dessas espécies no sistema é pequeno, entretanto, suficiente para a sua manutenção e perpetuação.

4.13 AVALIAÇÃO DO ESTABELECIMENTO DE BRACATINGA APÓS QUEIMA DE RESÍDUOS FLORESTAIS

Os resultados da emergência das plântulas de bracatinga após a queima dos resíduos, são apresentados na Tabela 17.

TABELA 17. REGENERAÇÃO DA BRACATINGA APÓS A QUEIMA DOS RESÍDUOS (02 e 03/09/1998), EM PARCELAS DE 2 m².

Blocos	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias	75 dias	90 dias	105 dias
A1	323	6	1	1	1	1	0
A1	206	26	0	0	1	0	1
A1	169	19	0	0	0	0	0
A1	48	8	3	0	1	0	0
A1	97	4	0	0	0	0	0
A1	171	8	1	0	0	0	0
A1	220	4	0	1	3	0	0
A2	147	5	0	2	3	0	0
A2	155	14	3	0	5	0	1
A2	180	6	0	1	1	1	0
A2	121	7	0	0	0	0	0
A2	134	11	1	3	2	1	0
A2	249	8	0	0	0	0	0
A2	72	5	0	1	0	0	0
A3	217	10	4	0	0	0	0
A3	140	4	1	2	0	0	0
A3	110	8	0	2	0	0	0
A3	42	6	1	0	1	0	0
A3	57	4	0	1	0	0	0
A3	194	8	4	4	2	0	0
%	93,00	52,00	0,58	0,55	0,61	0,09	0,06
Média do período	152,6	8,55	0,95	0,9	1	0,15	0,1

Os números de plantas germinadas por parcela representa plantas / 2 m² de área. A maior germinação ocorreu aos 14 dias após a queima, apresentando uma quantidade média de 76,3 plantas / m², taxa essa que diminuiu drasticamente nas leituras subseqüentes. Aos 30 dias da queima (01/10), a quantidade de plântulas reduziu-se a 4,27 / m², atingindo o valor de 0,5 plantas ou menos / m², nas outras leituras.

Portanto, nas condições avaliadas, quando houve precipitação logo após a queima, foi rapidamente desencadeado o processo de germinação e emergência das plântulas.

O total médio de plântulas germinadas no sítio, após a contagem final em 16/12 (103 dias após a queima), ficou em 82 plantas/m², muito próximo daquele encontrado por CARNEIRO (1982), que foi de 88/m², embora este dado se refira a sementes viáveis e não plântulas germinadas.

CARPANEZZI *et al.* (1997), em resultados de vários sítios, encontraram valores de 90 a 190 sementes viáveis/m². A germinação ocorreu concentradamente nos 30 primeiros dias atingindo valores médios de 62 a 79 plantas / m². No presente estudo, a rapidez da maior percentagem de emergência aos 15 dias após a queima pode ser explicada pela ocorrência de precipitações bem distribuídas que favoreceram a germinação.

Pelas condições observadas na temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade, sugere-se que as altas temperaturas só ocorreram na serapilheira em contato com o solo úmido e/ou nos primeiros milímetros do solo mineral. Esta condição foi capaz de romper o tegumento impermeável das sementes. Este processo, que segundo MATTOS e MATTOS (1980); ROTH (1982); CARNEIRO *et al.* (1982) é mais eficiente ao redor de 60°C por um tempo relativamente curto, foi efetivo na queima processada.

De acordo com ROTH (1982), a mortalidade das sementes pode se processar a poucos milímetros de profundidade quando as temperaturas atingirem valores superiores a 100° C.

O tempo de residência do fogo e a umidade da manta orgânica em contato com o solo foram os fatores determinantes para que houvesse um aquecimento não excessivo para a superação de dormência das sementes de bracatinga.

CARPANEZZI *et al.* (1997) afirmam que a maioria das sementes fica depositada na parte superficial do solo, sendo encontradas apenas 10% entre 3 e 10 cm de profundidade. Estes dados corroboram a afirmativa proposta por BITTENCOURT (1990) de que o fogo tem que ser “rápido”, sem aquecer demais o solo.

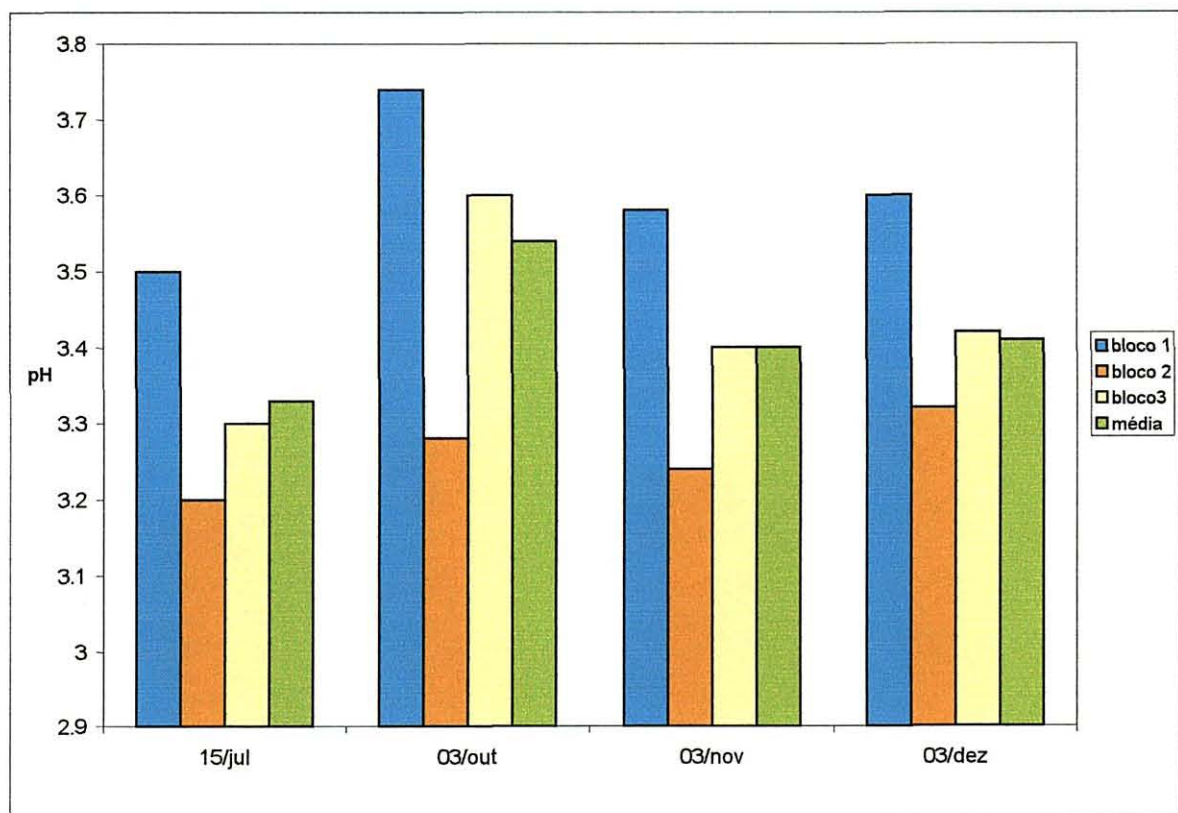
4.14 AVALIAÇÃO DO pH E DOS MACRONUTRIENTES N, P, K, Ca e Mg ANTES E DEPOIS DA QUEIMA.

O pH médio de 3,3 encontrado no sítio estudado, demonstra o alto grau de acidez dos Cambisolos da região e a conseqüente pobreza nutricional que estes solos da região possuem.

BAGGIO *et al.* (1997) comentaram que, a despeito da pobreza dos solos, vegeta uma grande variedade de espécies, não refletindo portanto a carência de nutrientes.

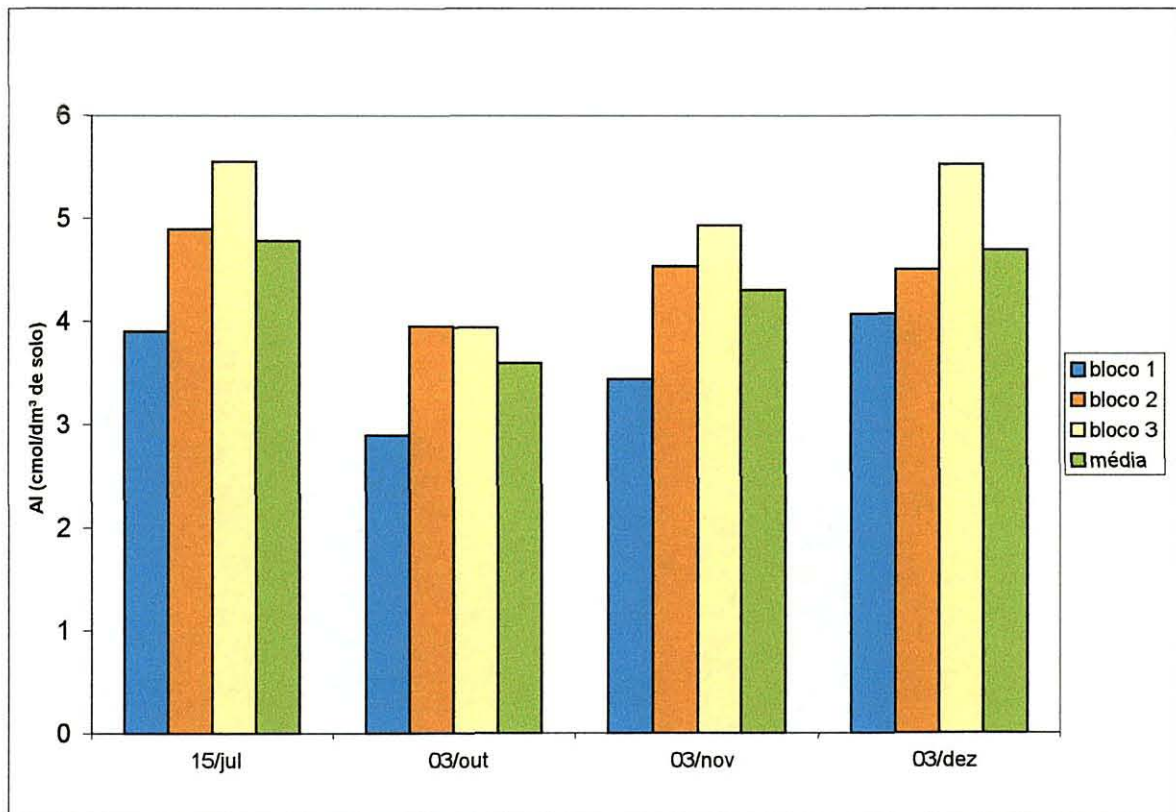
A Figura 31 mostra que, após a queima, o pH evoluiu para próximo de 3,6, baixando para um patamar de 3,4 cerca de 2 meses após a queima.

FIGURA 31. EVOLUÇÃO DO pH NO SOLO, POR BLOCO, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA (02 e 03/09/1998).



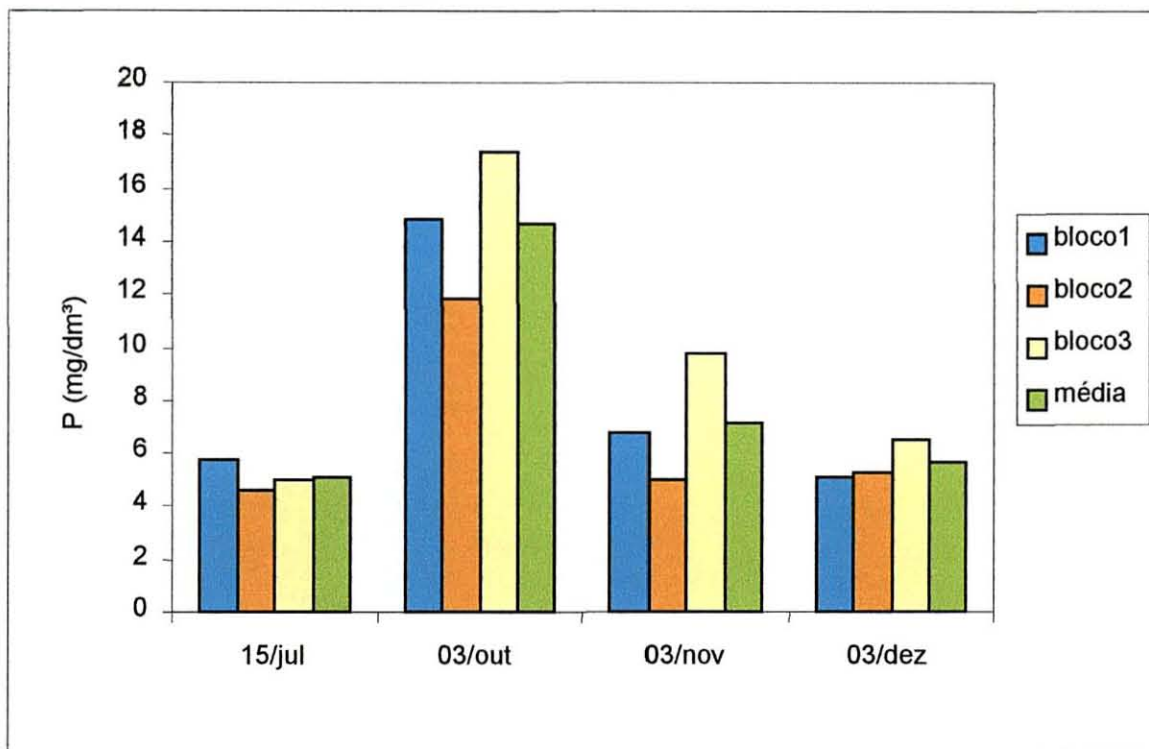
Embora este incremento tenha sido pequeno, se refletiu em todas as demais avaliações. A Figura 32 mostrou que o Al^{++} trocável, de próximo de 5 cmol.dm^{-3} de solo, desceu para menos de 4, voltando a crescer nos meses subsequentes.

FIGURA 32. EVOLUÇÃO DO Al^{++} NO SOLO, POR BLOCO, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA (02 e 03/09/1998)



O P que tinha um valor médio de 5 mg.dm^{-3} , subiu para acima de 15 mg.dm^{-3} 1 mês após a queima, voltando ao teor original 3 meses após (Figura 33).

FIGURA 33. EVOLUÇÃO DO P NO SOLO, POR BLOCO, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA (02 E 03/09/1998).



Da mesma forma o Mg e o Ca (Figura 34), tiveram sua quantidade aumentada, mostrando estar de forma disponível, embora por um tempo relativamente limitado (3 meses), para as atividades microbianas do solo e para o aproveitamento das plantas.

O K demonstrou uma disponibilidade limitada (Figura 35), estando em um valor mais alto 1 mês após a queima, voltando a valores médios abaixo do valor original. Aparentemente o K pode ter sido lixiviado pelas fortes precipitações ocorridas após a queima, o que ficou demonstrado pela sua quantidade posterior.

As pequenas porém perceptíveis modificações no conteúdo dos macronutrientes do Cambisolo avaliado, já são suficientes para favorecer o crescimento das plantas.

FIGURA 34. EVOLUÇÃO DO Mg (A) E DO Ca (B) NO SOLO, POR BLOCO, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA (02 e 03/09/1998).

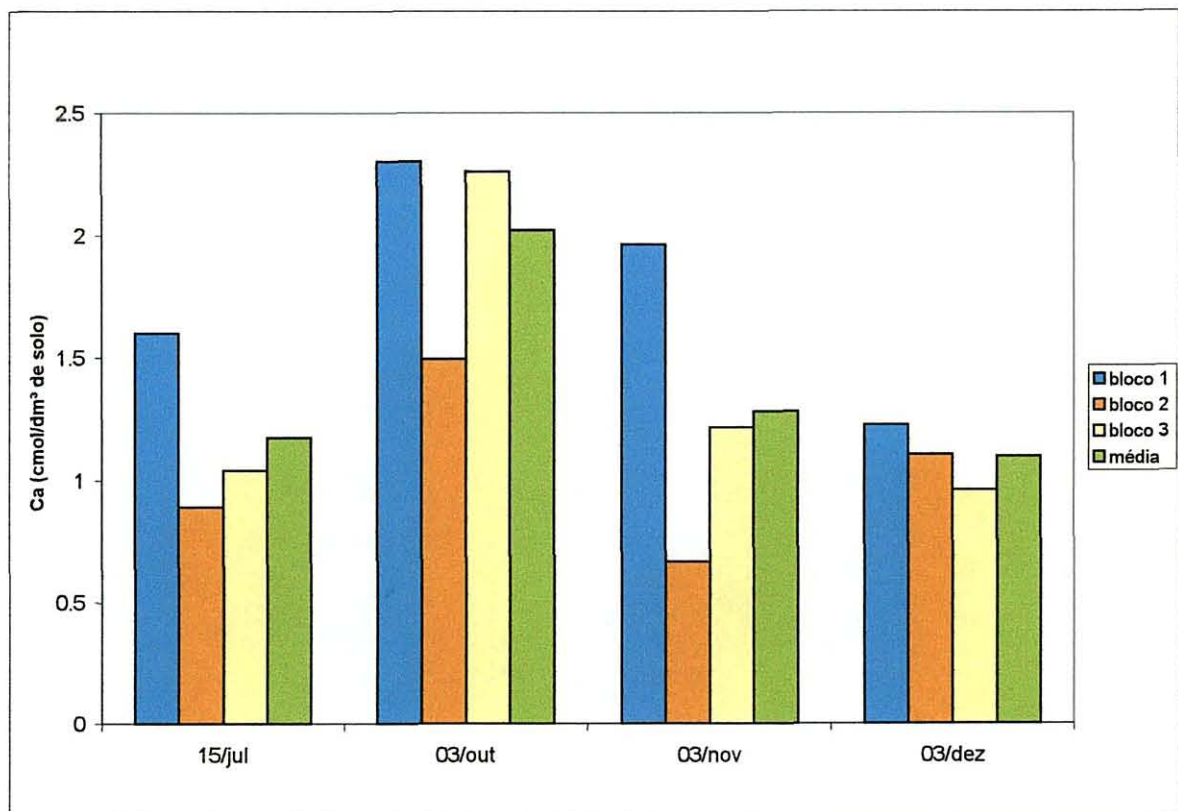
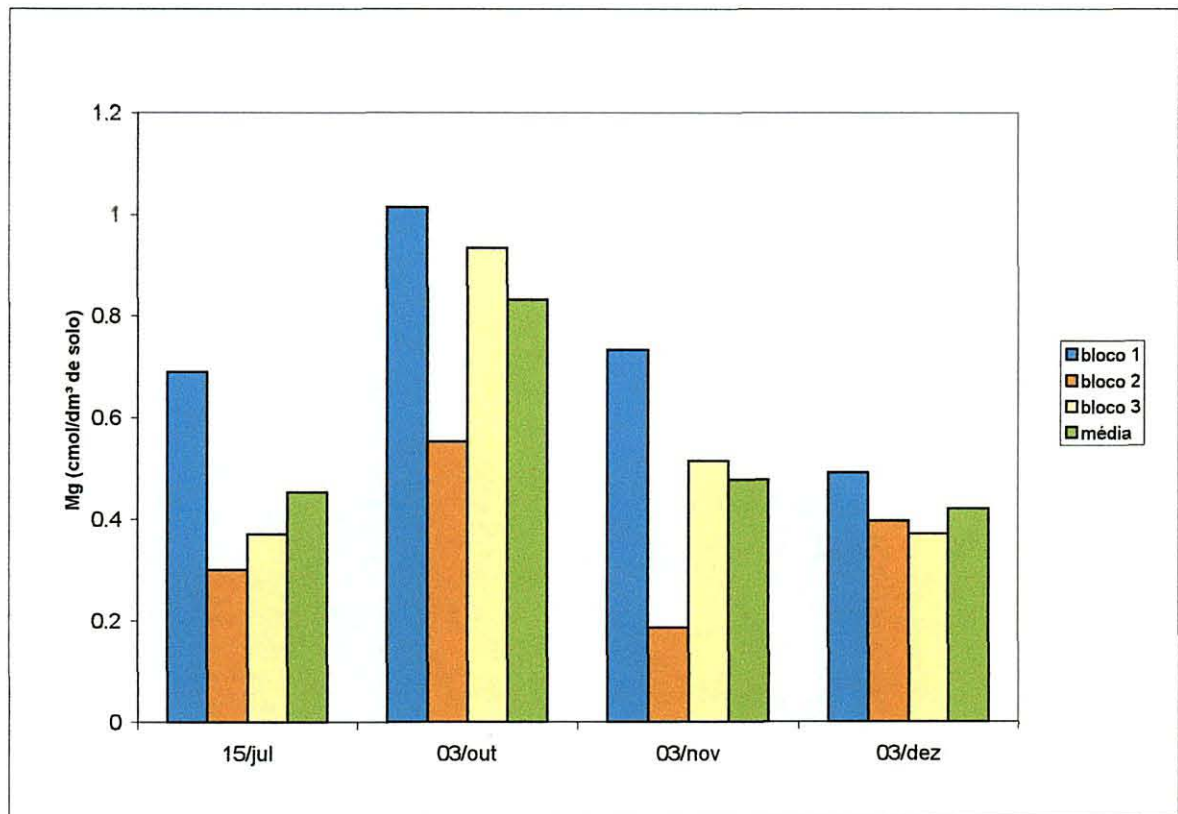
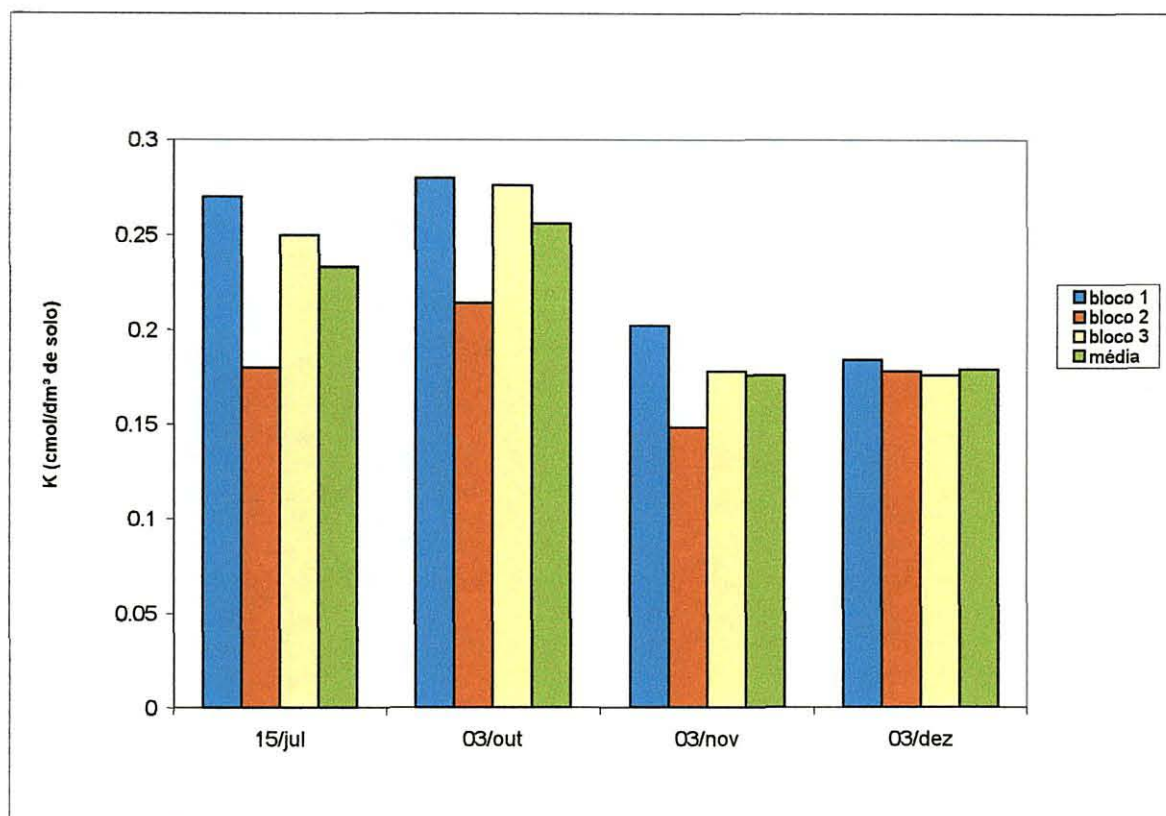


FIGURA 35. EVOLUÇÃO DO K NO SOLO, POR BLOCO, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA (02 e 03/09/1998).



Vários trabalhos corroboram os resultados deste trabalho (WELLS, 1971; REICH *et al.* 1990; TATONI *et al.* 1994), demonstrando que houve um acréscimo de nutrientes de forma disponível, que favoreceu as plantas.

VEGA (1996) alertou que uma boa parte dos nutrientes pode ser perdida por volatilização, principalmente N e P. A perda por esse processo pode ser em grande quantidade quando a serapilheira está totalmente seca. Por outro lado, o autor afirma que a queima parece não afetar as quantidades de Ca, K e Mg. Já COUTINHO (1996) afirma que metade do P, K, Ca, Mg e S oriundos da queimada no cerrado ficam em suspensão até novamente retornar ao solo com as precipitações ou gravidade.

Parece que este tipo de comportamento dos nutrientes se dá mais em condições extremamente secas em que o combustível é inteiramente incinerado. No presente estudo, a exemplo de situações semelhantes no sistema bracatinga, o fato serem pequenas áreas e as queimas se processarem em épocas relativamente secas (a situação

do clima Cfb caracteriza ambientes sem estação seca definida), há uma queima parcial de todo o combustível disponível, pois a umidade do material combustível impede a total combustão.

Pelas características de como ocorreu a queima dos resíduos dos bracatingais, não deve ter havido uma volatilização expressiva, ficando os nutrientes aí reciclados à disposição das plantas. Os resultados aqui obtidos, em que houve um acréscimo de nutrientes disponíveis no solo após a queima, podem ser explicados dessa maneira. Exceção foi feita ao K, por seu rápido decréscimo após a elevação na sua quantidade, que por ser lixiviável facilmente teve seu teor igualado à situação antes do fogo. Se o regime de chuvas pós-fogo tivesse sido outro, provavelmente a curva do K permaneceria semelhante ao do P, como no resultado encontrado por REICH *et al.* (1990).

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que:

1. A queima reduziu a quantidade de material combustível para 66% do peso seco inicial total.

2. As temperaturas máximas ficaram dentro da faixa normal de queima citada pela bibliografia, entre 600 a 800°C.

3. A passagem do fogo pouco alterou a temperatura do solo, mostrando que não deve ter havido grandes mudanças na atividade biológica do solo.

4. Nos dias subseqüentes à queima foi detectada uma maior variação térmica no solo descoberto, em relação ao florestado com bracatinga, com a temperatura média do solo descoberto sempre superior à do solo com bracatinga.

5. O fluxo de calor no solo foi sempre maior na área aberta do que na área de bracatinga.

6. A umidade do ar foi sempre menor na área aberta do que na área com bracatinga, tendendo a aumentar ao nível do dossel.

7. Na área aberta a radiação refletida apresentou um valor médio de 22,5% da radiação total incidente; na área com bracatinga este valor foi de 12%.

8. A radiação líquida foi maior na área com bracatinga e representou 78% da radiação global incidente, enquanto que na área aberta foi de 70%.

9. O albedo sofreu variações, aumentando a partir dos dias da queima, em função da mudança de reflexão da superfície.

10. Os valores de radiação líquida foram superados em alguns momentos pelos fluxos de calor latente e calor sensível, havendo portanto perdas de energia maiores do que o seu ganho, dentro do sistema solo-planta.

11. A razão de Bowen apresentou sensível variação em alguns dias, devido a topografia acidentada, bordadura e oscilação da velocidade do vento, que afetaram as forças convectivas.

12. Após a queima houve uma regeneração significativa de espécies herbáceas, além de várias espécies arbóreas, mostrando que mesmo após vários ciclos de exploração, muitas espécies da flora original continuaram a se regenerar.

13. A germinação mais intensa da bracatinga, embora desuniforme na área, ocorreu nas primeiras duas semanas após a queima, decrescendo bastante nas semanas subsequentes.

14. Os teores dos macronutrientes P, K, Ca e Mg e o pH do solo nos 5 cm superficiais apresentaram uma elevação logo após a queima, enquanto o Al^{++} decresceu, todos porém voltando aos níveis anteriores depois de três meses.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALLEN Jr., J.H.; LEMON, E.R. Carbon dioxide exchange and turbulence in a Costa Rica tropical rain forest. In: MONTEITH, J. L. **Vegetation and Atmosphere**. London, Academic Press, 1976, p.165–308.
- 2 ATTIWILL, P.M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. In: **Forest Ecology and Management**. [s.l.]. v.63, n.2-3, p.247-300, 1994.
- 3 BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A. Biomassa aérea da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) em talhões do sistema de cultivo tradicional. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p.31-34, 1997a.
- 4 _____. Exportação de nutrientes na exploração de bracatingais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p.17-29, 1997b.
- 5 _____. Quantificação dos resíduos florestais em bracatingais na região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Curitiba, n. 30/31, p.51-66, 1995.
- 6 BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; CARVALHO, P.E.R.; *et al.* Levantamento da espécies lenhosas em sub-bosques de bracatingais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p.69-74, 1995.
- 7 BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; GRAÇA, L.R.; *et al.* Sistema agroflorestal da bracatinga com culturas anuais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.12, p.73-82, 1986.
- 8 BATISTA, A.C. **Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no Norte do Paraná**. Curitiba, 1995. 108p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal): Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 9 _____. Efeitos da queima controlada em plantações de *Pinus taeda*. In: SOARES, R.V. REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4 (1996); CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2 (1996). **Anais...** Curitiba: FUPEF/DSM-SCA-UFPR, p.92-99, 1996.
- 10 BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre, IPAGRO. p.23-27, 1981. (Boletim Técnico, 7).

- 11 BITTENCOURT, S.M. Aspectos técnicos do sistema bracatinga. In: Seminário sobre agrossilvicultura no desenvolvimento rural, Curitiba, 1990. **Anais...** Curitiba: Convênio Brasil/Paraná – França – FAO, 1990. p. 41-46.
- 12 BROWN, A.A.; DAVIS, K.P. **Forest fire: Control and use**. 2 ed. New York: Mc Graw Hill, 1973. 686 p.
- 13 BROWN, J.K.; DEBEYLE, N.V. Effects of Prescribed Fire on Biomass and Plant Succession in Western Aspen. USDA. Forest Service, Research Station, 1989. 16p. (INT-412).
- 14 BRUTSAERT, W. **Evapotranspiration into the atmosphere**. Dordrecht, Holand: D. Reidel Publishing Company, 1982, p.133-137.
- 15 BYRAM, G.M. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K.P. **Forest fire: Control and use**. New York: Mc Graw Hill, 1959. p.77-84.
- 16 CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. Bowen ratio instrumentation. In: **Instruction manual**, 1995. p.1-4. (Section 1: System overview).
- 17 CARNEIRO, R.M. *et al.* **Importância da dormência das sementes na regeneração da bracatinga**. [s. l.], s.ed., 1980.(não publicado).
- 18 CARNEIRO, R.M.; ALMEIDA Jr., A.R.; KAGEYAMA, P.Y. *et al.* **Importância da dormência das sementes na regeneração da bracatinga - *Mimosa scabrella*, Benth.** Piracicaba: IPEF, 1982. 10p. (IPEF. Circular Técnica, 149).
- 19 CARPANEZZI, A.A.; CARPANEZZI, O.T.B.; BAGGIO, A.J. Manejo de bracatingais. In: TÓPICOS DE MANEJO SUSTENTÁVEL. CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1, Curitiba, CNPF, p.157-163, 1997. (EMBRAPA - CNPF, Documentos, 34).
- 20 CARPANEZZI, A.A.; PAGANO, S.N.; BAGGIO, A.J. Banco de sementes de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth.) em povoamentos do sistema tradicional de cultivo. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Curitiba, v.35, p.3-19, 1981.
- 21 CARVALHO, P.E.R. Composição e crescimento da bracatinga em povoamento natural. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4. BRACATINGA, UMA ALTERATIVA PARA

- REFLORESTAMENTO, 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-UFRPFCS, 1981. p. 67-75. (EMBRAPA-UFRPFCS. Documentos,5).
- 22 CASTRO NEVES, B.M. e MIRANDA, H.S. Efeitos do fogo no regime térmico do solo de um campo sujo de cerrado. In: SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, Brasília, 1996. **Anais...** Brasília-DF: 1996.
- 23 CESTARO, L.A. Estudo microclimático do interior de uma mata de araucária na Estação Ecológica de Aracurí, Esmeralda, R.S. **Revista Árvore**, v.12, n.1, p.41-57, 1988.
- 24 CHANG, J.H. **Climate and Agriculture, an Ecological Survey**. Chicago: Aldine Publishing Company, p.163-174, 1971.
- 25 _____. Microclimate of sugar cane. **Hawaiian Planters Record**, v.56, p.195-223, 1961.
- 26 COOPER, R.W. Current use and place of prescribed burning. In: PRESCRIBED BURNING SYMPOSIUM, 1971. Charleston, South Carolina. **Proceedings...** U.S.D.A. Forest Service, 1971. p. 21-27.
- 27 COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. I - A temperatura do solo durante as queimadas. **Revista Brasileira de Botânica**, v.1, p.93-96, 1978.
- 28 _____. Efeitos ecológicos do fogo no cerrado. In: SOARES, R.V. REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4 (1996); CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2 (1996). **Anais...** Curitiba: FUPEF/DSM-SCA-UFPR, p.57-61, 1996.
- 29 _____. O Cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência hoje**. Rio de Janeiro, v.12, n.68, p. 22-30, 1990.
- 30 DE BANO, L.F. Effects of fire on chaparral soils in Arizona and California and postfire management implications. In: SYMPOSIUM ON FIRE AND WATERSHED MANAGEMENT (1988: Sacramento). **Proceedings...** Gen. Tech. Rep., U.S.D.A. Berkeley, Forest Service, PSW-109, p.55-62, 1989.
- 31 DE BANO, L.F.; DUNN, P.H.; CONRAD, C.E. Fires effect on physical and chemical properties of chaparral soils. In: SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF FIRE AND FUEL

- MANAGEMENT IN MEDITERRANEAN ECOSYSTEMS, Washigton-D.C. U.S.D.A. Forest Service, 1977. p.65-74. (Gen. Tech. Rep. WO-3).
- 32 DE RONDE, C.; GOLDAMMER, J.G.; WADE, D.D. *et al.* Prescribed fire in industrial plantations. In: GOLDAMMER, J.G. (ed.). FIRE IN THE TROPICAL BIOTA – ECOSISTEM PROCESSES AND GLOBAL CHALLENGES. Berlin: Springer-Verlag, p.216-272, 1990. (Ecological studies, Vol.84).
- 33 DIAS, I.O.F.; MIRANDA, A.C.; MIRANDA, H.S. Efeito das queimadas no microclima de solos de campos de Cerrado - DF/Brazil. In: SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, 1996. **Anais...** Brasília, DF., 1996, p.11-19.
- 34 DIAS, N.L. **Estimativas climatológicas de evaporação em lagos.** Rio de Janeiro, 1986. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil): Setor de Ciências Exatas, UFRJ, 1986.
- 35 DIAS, N.L.; OKAWA, C.M.P.; GRODZKI, L.; *et al.* Os experimentos intensivos de campo dos estudos de mesoescala para o lago de Itaipú (EXINC/MESOLIT). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília, DF, 1998. **Anais...** Brasília: 1998a.
- 36 _____. **Relatório II do projeto Mesolit:** instalação das estações meteorológicas e resultado das medições micrometeorológicas. Curitiba: SIMEPAR, 1998b. 70p. (Relatório Técnico n. 001/98).
- 37 EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Colombo, PR.). **Manual Técnico da bracatinga** (*Mimosa scabrella*, **Benth.**) Colombo, 1988. 70p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 20).
- 38 FARIA, A.J.; HATTORI, S.; OMETTO, J.C.; *et al.* Balanço de energia em uma floresta artificial (*Pinus elliotti var. elliotti*). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 11.: A INFLUÊNCIA DAS FLORESTAS NO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, Curitiba, 142p., 1984. (EMBRAPA-CNPQ, 1985).
- 39 FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, **Benth.**), e aspectos gerais de combustão. Curitiba: FUPEF, 1981. 13p. (FUPEF, Série Técnica, 6).

- 40 FISCH, G.; WRIGHT, I.R.; BASTABLE, H.G. Albedo of tropical grass: a case study of pre-and post-burning. **International Journal of Climatology**, v.14, p.103-107, 1994.
- 41 FRITSCHEN, L.J.; QIAN, P. Variation in energy balance components from six sites in a native prairie for three years. **Journal of Geographic Research**, v. 97, n.D-17, p.18651 - 18661, 1992.
- 42 FRITSCHEN, L.; FRITSCHEN, C. **Surface energy balance system.**(Radiation and Energy Balance Systems Inc., Renton, WA98056). In: SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGE STUDIES, 4; AMS Annual Meeting, 73rd, Anaheim, CA. (mimeografado, s/ data).
- 43 FROST, P.G.; ROBERTSON, F. The ecological effects of fire in savannas. In: **Determinants of Tropical Savannas**. B. H. Walber (ed.). Oxford: IRL Press Limited. 1987. p.93-141.
- 44 GALVÃO, F. Métodos de levantamento fitossociológico. In: **A vegetação natural do Estado do Paraná**. Curitiba: IPARDES, (Projeto Escola de Governo), 1994. p.25-37.
- 45 GIELOW, R.; ALVALÁ, R.C.S.; HODETT, M.G.; *et al.* Albedo no pantanal sul-matogrossense durante e após o período de inundação de 1998. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11 (1999); REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA., 2 (1999). Florianópolis: SBA n.1, 1999. CD-ROM.
- 46 GRODZKI, L.; DIAS, N.L.; CARAMORI, P. Psicrômetro ventilado para medidas micrometeorológicas de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11 (1999); REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2 (1999). Florianópolis: SBA n.1, 1999. CD-ROM.
- 47 HOEHNE, F.C. **A bracatinga ou abaracaatinga**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, 1930. 47p.
- 48 HUSTON, M.A. Fire in forests. In: **Biological diversity - The coexistence of species on changing landscapes**. Cambridge: University Press, 1995. p.468-482.
- 49 IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994. 49p. (IAPAR, Documento, 18).

- 50 _____. Dados climáticos das estações meteorológicas. Curitiba, 2000. (mimeografado).
- 51 IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p. (Séries Manuais Técnicas em Geociências, 1).
- 52 ITO, M.; IIZUMI, S. Temperatures during grassland fires and their effect on some species in Kawatabi, Miyagi Prefecture. **Tokyo Univ. Sci. Rep. Res. Inst.**, v. D-11, n.2, p.109-114. 1960.
- 53 JARVIS, P.G.; JAMES, G.B.; LANDSBERG, J.J. Coniferous forest. In: **Vegetation and atmosphere**. London: Academic Press, 1976. p.171-240.
- 54 KLEIN, R.M. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica de partes dos municípios de Rio Branco do Sul, Bocaiuva do Sul, Almirante Tamandaré e Colombo, Paraná. **Boletim da Universidade do Paraná**, n.3, Curitiba, 33p., 1962.
- 55 KOMAREK, E.V. Effects of fire on wildlife and range habitats. In: **PRESCRIBED BURNING SYMPOSIUM (1971)**. Charleston, South Carolina. **Proceedings...** USDA. Forest Service, p. 46-53, 1971.
- 56 LAFLEUR, P.M. Energy balance and evapotranspiration from a subarctic forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.58, n.3-4, p.163-175, 1982.
- 57 LANGDON, O.G. Effects of prescribed burning on timber species in the southeastern coastal plain. In: **PRESCRIBED BURNING SYMPOSIUM, 1971**. Charleston, South Carolina. **Proceedings...** USDA. Charleston, Forest Service, 1971. p.34-44.
- 58 LAURENT, J.M.E.; PEDREIRA, M.R.R.; CARPANEZZI, O.T.B.; *et al.* **Melhoramento do Sistema Agroflorestal da Bracatinga**. Curitiba, FAO-Projeto GCP/BRA /025/FRA, 1990. 128p. (Série Estudos Florestais, 6).
- 59 LEE, R. **Forest Microclimatology**. New York: Columbia University Press, 1978, p.147-167.
- 60 LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. II. An aerodynamic method for determining the carbon dioxide exchange between the atmosphere and a corn field. **Journal**. Madison, Wis., v.52, p.697-703, 1960.

- 61 LEOPOLDO, P.R.; CHAVES, J.G.; FRANKEN, W.K. Solar energy budgets in central Amazonian ecosystems: a comparison between natural forest and bare soil areas. **Forest Ecology and Management**, v.59, n.3-4, p.313-318, 1993.
- 62 LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 1ªed. S. Paulo: Ed. Plantarum, 1992, 352p. p.180.
- 63 MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ªed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981. 450p.
- 64 MATTOS, J. R.; MATTOS, N.F. **A bracinga**. Porto Alegre: IPRNR "AP", 1980. 40p. (Publicação IPRNR, 5).
- 65 Mc ARTHUR, A.G.; CHENEY, N.P. The characterization of fires in relation to ecological studies. **Aust. For. Res.**, v.2, n.3, p.36-45, 1966.
- 66 MIRANDA, H.S.; ROCHA E SILVA, E.P.; MIRANDA, A.C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, 1996. **Anais...** Brasília-DF: 1996. p.1-9.
- 67 MIRANDA, A.C.; MIRANDA, H.S.; DIAS I.F.O. et al. Soil and air temperatures during prescribed cerrado fires in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.9, n.3, p.313-320, 1993.
- 68 MIYASAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F. **Análise química de tecido vegetal**. (Circular Técnica n. 74). Londrina: IAPAR, 1992, 17p.
- 69 MONTEITH, J.L. **Principles of Environmental Physics**. London: Edward Arnold Publishers, 1973. 241p.
- 70 MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and Methods of Vegetation Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547p.
- 71 MUNRO, D.S. Internal consistency of Bowen ratio approach to flux estimation over forested wetland. In: **The Forest - Atmospheric Interaction**. B. A. Hutchison and B. B. Hicks (eds.), 1985, p. 395-404.
- 72 MURRAY, F.W. On the computation of saturation vapour pressure. **J. Appl. Meteor.** v.6, p.203-4, 1967.

- 73 NEVES, B.M.C.; MIRANDA, H.S. Efeitos do fogo no regime térmico do solo de um campo sujo de cerrado. In: SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, Brasília, 1996. **Anais...** Brasília-DF., 1996. p.20-36.
- 74 OKAWA, C.M.P.; DIAS, N.L.; GRODZKI, L. et al. Resultados de um experimento micrometeorológico em uma cultura de soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, Belo Horizonte, 1999. **Anais...** Belo horizonte, 1999.
- 75 OKAWA, C.M.P.; GRODZKI, L.; DIAS, N.L.C. et al. Medições de fluxos de energia com métodos tradicionais e alternativos sobre uma cultura de soja em Santa Therezinha de Itaipu, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília, 1998. **Anais...**Brasília-DF, 1998. p.40-56.
- 76 PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. São Paulo: Depto. de Física e Meteorologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo, 1996. p.1-6.
- 77 PUDJIHARTA, A.; PRAMONO, I.B. The effect of natural forest on microclimate at Yampala, West Jawa. **Buletin Penitilian Hutan**, v.519, p.1-11, 1989.
- 78 RALSTON, C.W.; HATCHELL, G.E. Effects of prescribed burning on physical properties of soil. In: PRESCRIBED BURNING SYMPOSIUM, 1971. Charleston, South Carolina. **Proceedings...** USDA. Forest Service, 1971. p. 68-84.
- 79 RAUNER, J.L. Deciduous forests In: **Vegetation and atmosphere**. London: Academic Press, 1976. p. 241-265.
- 80 REICH, P.B.; ABRANS, M.D.; ELLSWORTH, D.S.; et al. Fire affects ecophysiology and community dynamics of central Wisconsin oak/ forest regeneration. **Ecology**. v.71, n.6, p.2179-2190, 1990.
- 81 REITZ, R.; BUKART, A. Mimosideas. In: **Leguminosas**. Itajaí: Flora Ilustrada Catarinense, 1996. p.179-185.
- 82 RIBEIRO, A.R. **Estudo do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* Labill em Três Barras, Santa Catarina**. Curitiba, 1997. 163p. Dissertação. (Doutorado

- em Engenharia Florestal): Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 83 RIBEIRO, G.A.; SOARES, R.V. Comportamento da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis*. In: SOARES, R.V. REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4 (1996); CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2, Curitiba, 1996. **Anais...** Curitiba: FUPEF/DSM-SCA-UFPR, 1996. p.83-91.
- 84 _____. Estudo do comportamento da queima controlada em um povoamento de *Eucalyptus viminalis*. **Revista Árvore**, Viçosa, M.G., v.23, n.1, p.57-64, 1999.
- 85 RIBEIRO, J.B.M.; ROCHA, E.J.P.; OLIVEIRA, L.S. Estudo de perfis micrometeorológicos na floresta amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995. Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p.333-335.
- 86 RIGOLOT, E. Combustíveis. In: REGO, F.C.; BOTELHO, H.S. **A técnica do fogo controlado**. Alto Douro: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 1990. p.35-48.
- 87 ROSE, C.W. **Agricultural Physics**. Pergamon Press: London, 1969.p.30-88.
- 88 ROSEMBERG, N.J. **Microclimatology**. John Wiley & Sons, USA. 1974. p.159-194.
- 89 ROTH, P.S. **O efeito do fogo sobre a quebra de dormência em sementes de bracinga (*Mimosa bracinga*, Hoehne)**. Piracicaba: IPEF, 1982. 7p. (IPEF, Circular Técnica, 143).
- 90 ROTHERMEL, R.C. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. **General Technical Report**, Ogden: U.S.D.A. Forest Service, 1983. 161p. (INT-143).
- 91 _____. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. U.S.D.A. Forest Service, 1972. 41p. (Research Paper INT-115).
- 92 ROTHERMEL, R.C.; DEEMING, J.E. Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects. **General Technical Report**, Ogden, U.S.D.A. Forest Service, 1980. 4p. (INT-93).

- 93 SAN JOSÉ, J.J. Mass and energy transfer within and between burned and unburned savanna environments. **International Journal of Wildland Fire**, v.2, n.4, p.153-160, 1992.
- 94 SAULEI, S.D.M. The impact of large scale clear fell logging of a tropical lowland rain forest on the micro-climate and soil properties. **Klinkii**, v.4, n.3, p.13-23, 1991.
- 95 SCHROEDER, M.J.; BUCK, C.C. **Fire weather**. U. S. Department of Agriculture Handbook 360, 1970. 229p.
- 96 SEEMANN, J.; LOMAS, J.; CHIRCOV, Y.I.; *et al.* The Climate of Trees, Orchards, and Forests. In: **Applied agrometeorology**. New York: Heidelberg, 1979, p. 152-162.
- 97 SEITZ, R.A. Estudo da variação da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar no interior de uma mata de *Araucaria angustifolia* em relação ao terreno livre. **Revista Floresta**, Curitiba, v.11, n.2, p.37-45, 1976.
- 98 SILVA, F.C.; FURLAN, R.A.; FOLEGATTI, M.V. Estimativas de densidade de fluxo de calor sensível e latente através do método da razão de Bowen. In: : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11 (1999); REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA., 2 (1999). Florianópolis: SBA n.1, 1999. CD-ROM.
- 99 SOARES, R.V. Determinação da quantidade de material combustível acumulado em plantios de *Pinus* sp na região de Sacramento (MG). **Revista Floresta**, Curitiba, v.10, n.1, p.48-62, 1979.
- 100 _____. **Incêndios Florestais: controle e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 1985, 213p.
- 101 _____. **The use of prescribed fire in forest management in the State of Paraná, Brazil**. Seattle, 1977. 203p. (Ph.D. Dissertation): University of Washington.
- 102 SONG, J. Diurnal asymmetry in surface albedo. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.92, p.181-189, 1998.
- 103 SUTTON, O.G. **Micrometeorology**. New York: Mc Graw Hill Book Company, 1953, 333p.

- 104 TATONI, T.; MAGNIN, F.; BONIN, G.; *et al.* Secondary successions on abandoned cultivations terraces in calcareous Provence. I – Vegetation and soil. **Acta Oecologica**. v.15, n.4, p. 431-447, 1994.
- 105 THOM, A.S. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: MONTEITH, J. L., ed. **Vegetation and the atmosphere**. London: Academic Press v.1, p.57-109, 1975.
- 106 TRABAUD, L. Etude du comportement du feu dans la Garrigue de Chêne kernes à partir du températures et des vitesses de propagation. **Aun. Sci. Forest**, v.36, n1, p.13-38. 1979.
- 107 UHL, C.; KAUFFMAN, J. B.; SILVA, E. D. Os caminhos do fogo na Amazônia. **Ciência hoje**, Rio de Janeiro, v.11, n.65, p.24-32, 1990.
- 108 VEGA, J.A. Investigacion sobre control de incendios em España. In: SOARES, R. V. REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4 (1996); CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2 (1996). **Anais...** Curitiba: FUPEF/DSM-SCA-UFPR, 1996.
- 109 _____. **Silvicultura preventiva**. In: SOARES, R. V. REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4 (1996); CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2 (1996). **Anais...** Curitiba: FUPEF/DSM-SCA-UFPR, 1996, p.100-116.
- 110 WADE, D.D.; LUNSFORD, J.D. A guide for prescribed fire in Southern forests. **Technical Publication**, Atlanta, USDA. Forest Service, 1989. 56p. (R8 - TP11).
- 111 WAGNER, C.; BERNARDES, L.R.M.; CORREA, A.R. *et al.* Velocidade e direção predominante do vento no Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 56p. ilustrado, 1989. (IAPAR. **Boletim técnico** , 26).
- 112 WEBB, E.K. Aerial Microclimate, chapter II. In: **Meteorological Monographs**. Boston: v.6, p.27-58. 1965.
- 113 WELLS, C.G. Effects of prescribed burning on soil chemical properties and nutrient availability. In: **PRESCRIBED BURNING SYMPOSIUM (1971)** Charleston, South Carolina. **Proceedings...** USDA. Forest Service, 1971, p. 86-97.

- 114 WRIGHT, H.A.; BAILEY, A.W. Temperature and heat effects. In: **Fire ecology. United States and Canadá.** N. York: John Wiley & Sons, 1982, p.8-23.

7 ANEXOS

ANEXO 1

PROGRAMA PARA DETERMINAR AS TEMPERATURAS DE QUEIMA DOS RESÍDUOS DA BRACATINGA EM 2-3/09/1998.

("DATALOGGER"21X)

*Table 1 Program

01: 1.0 Execution Interval (seconds)

*Table 2 Program

02: 0.0 Execution Interval (seconds)

1: Internal Temperature (P17)

1: 1 Loc [1]

2: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1: 3 Reps

2: 14 ñ 500 mV Fast Range

3: 2 DIFF Channel

4: 3 Type K (Chromel-Alumel)

5: 1 Ref Temp Loc [1]

6: 5 Loc [2#3]

7: 1 Mult

8: 0.0 Offset

3: Thermocouple Temp (SE) (P13)

1: 3 Reps

2: 2 ñ 15 mV Slow Range

3: 3 SE Channel

4: 1 Type T (Copper-Constantan)

5: 1 Ref Temp Loc [1]

6: 60 Loc [4#6]

7: 1.0 Mult

8: 0.0 Offset

4: Sample (P70)

1: 6 Reps

2: 1 Loc [1]

5: Real Time (P77)

1: 111 Day,Hour/Minute,Seconds

6: If Flag/Port (P91)

1: 11 Do if Flag 1 is High

2: 10 Set Output Flag High

7: Serial Out (P96)

1: 30 SM192/SM716/CSM1

*5

01:

02:

03:

*4

01:1

02:2

* 0 LOG1

* 6 A

D

1 A

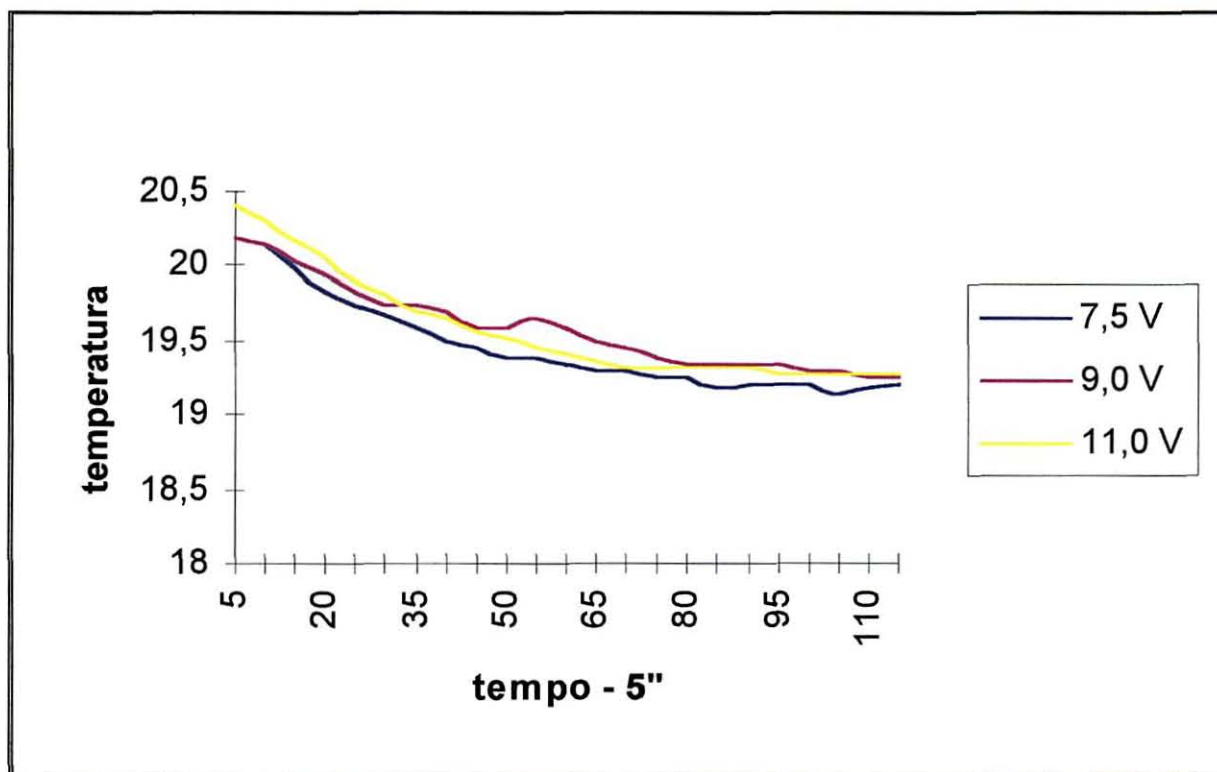
* 0

*Table 3 Subroutines

End Program

ANEXO 2

EXEMPLO DE UMA CURVA DE ESTABILIZAÇÃO DA TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO (°C), PARA DIFERENTES FONTES DE TENSÃO, COM VENTILAÇÃO FORÇADA, OBTIDAS A CADA 5 SEGUNDOS.



ANEXO 3

PROGRAMA USADO NA TORRE 1 (ÁREA ABERTA), COM AS SUB-ROTINAS PARA LIGAR/DESLIGAR OS MICROVENTILADORES (*2) E DO RADIÔMETRO LÍQUIDO (*3)

*Table 1 Program

01: 30.0 Execution Interval (seconds)

1: Pulse (P3)

1: 1 Reps
 2: 1 Pulse Input Channel
 3: 21 Low Level AC, Output Hz
 4: 1 Loc [ws]
 5: 0.098 Mult
 6: 0.0 Offset

2: Excite Delay Volt (SE) (P4)

1: 1 Reps
 2: 5 ñ 5000 mV Slow Range
 3: 1 SE Channel
 4: 1 Excite all reps w/Exchan 1
 5: 2 Delay (units 0.01 sec)
 6: 5000 mV Excitation
 7: 2 Loc [dir]
 8: 0.071 Mult
 9: 0.0 Offset

3: Thermocouple Temp (SE) (P13)

1: 3 Reps
 2: 3 ñ 50 mV Slow Range
 3: 2 SE Channel
 4: 1 Type T (Copper-Constantan)
 5: 12 Ref Temp Loc [_____]
 6: 3 Loc [t#1]
 7: 1.0 Mult
 8: 0.0 Offset

4: Internal Temperature (P17)

1: 12 Loc [_____]

5: Volts (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 2 ñ 15 mV Slow Range
 3: 11 SE Channel
 4: 13 Loc [_____]
 5: 46.512 Mult
 6: 0.0 Offset

6: Volts (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 2 ñ 15 mV Slow Range
 3: 12 SE Channel
 4: 14 Loc [_____]
 5: 42.735 Mult
 6: 0.0 Offset

7: Volts (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 2 ñ 15 mV Slow Range
 3: 13 SE Channel
 4: 15 Loc [_____]
 5: 78.46 Mult
 6: 0.0 Offset

8: Volts (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 2 ñ 15 mV Slow Range
 3: 14 SE Channel
 4: 16 Loc [_____]
 5: 71.6 Mult
 6: 0.0 Offset

9: Volt (Diff) (P2)

1: 1 Reps
 2: 4 ñ 500 mV Slow Range
 3: 8 DIFF Channel
 4: 17 Loc [_____]
 5: 1.0 Mult
 6: 0.0 Offset

10: IF (X<=>F) (P89)

1: 17 X Loc [_____]
 2: 3 >=
 3: 0.0 F
 4: 30 Then Do

11: Do (P86)

1: 1 Call Subroutine 1

12: Else (P94)

13: Do (P86)

1: 2 Call Subroutine 2

14: End (P95)

15: If time is (P92)

1: 0000 Minutes into a
 2: 5 Minute Interval
 3: 10 Set Output Flag High

16: Real Time (P77)

1: 111 Day,Hour/Minute,Seconds

17: Average (P71)

1: 17 Reps
 2: 1 Loc [ws]

18: Serial Out (P96)

1: 30 SM192/SM716/CSM1

*Table 2 Program

02: 300.0 Execution Interval (seconds)

1: Excitation with Delay (P22)

1: 2 Ex Channel
 2: 8000 Delay w/Ex (units = 0.01 sec)
 3: 0000 Delay After Ex (units = 0.01 sec)
 4: 5000 mV Excitation

2: Internal Temperature (P17)

1: 12 Loc [_____]

3: Thermocouple Temp (SE) (P13)

1: 6 Reps
 2: 3 ñ 50 mV Slow Range
 3: 5 SE Channel
 4: 1 Type T (Copper-Constantan)
 5: 12 Ref Temp Loc [_____]
 6: 6 Loc [_____]
 7: 1.0 Mult
 8: 0.0 Offset

4: If time is (P92)

1: 0000 Minutes into a
 2: 5 Minute Interval
 3: 10 Set Output Flag High

5: Real Time (P77)

1: 111 Day,Hour/Minute,Seconds

6: Sample (P70)

1: 7 Reps
 2: 6 Loc [_____]

7: Serial Out (P96)

1: 30 SM192/SM716/CSM1

*Table 3 Subroutines

1: Beginning of Subroutine (P85)

1: 1 Subroutine 1

2: Z=X*F (P37)

1: 1 X Loc [ws]
 2: 0.2 F
 3: 21 Z Loc [_____]

3: Z=X*F (P37)

1: 21 X Loc [_____]
 2: 0.066 F
 3: 19 Z Loc [_____]

4: Z=X+F (P34)

1: 21 X Loc [_____]
 2: 0.066 F
 3: 20 Z Loc [_____]

5: Z=X/Y (P38)

1: 19 X Loc [_____]
 2: 20 Y Loc [_____]
 3: 22 Z Loc [_____]

```

6: Z=Z+1 (P32)
  1: 22   Z Loc [ _____ ]

7: Z=X*F (P37)
  1: 17   X Loc [ _____ ]
  2: 9.25 F
  3: 17   Z Loc [ _____ ]

8: Z=X*Y (P36)
  1: 17   X Loc [ _____ ]
  2: 22   Y Loc [ _____ ]
  3: 17   Z Loc [ _____ ]

9: End (P95)

10: Beginning of Subroutine (P85)
  1: 2     Subroutine 2

11: Z=X*F (P37)
  1: 1     X Loc [ ws     ]
  2: 0.0017 F
  3: 19   Z Loc [ _____ ]

12: Z=X+F (P34)
  1: 19   X Loc [ _____ ]
  2: 0.9975 F
  3: 22   Z Loc [ _____ ]

13: Z=X*F (P37)
  1: 17   X Loc [ _____ ]
  2: 11.52 F
  3: 17   Z Loc [ _____ ]

14: Z=X*Y (P36)
  1: 17   X Loc [ _____ ]
  2: 22   Y Loc [ _____ ]
  3: 17   Z Loc [ _____ ]

15: End (P95)

End Program

```

ANEXO 4

PROGRAMA UTILIZADO NA TORRE 2 (ÁREA DE BRACATINGA), PARA AS MEDIÇÕES MICROMETEOROLÓGICAS E AS CORRESPONDENTES SUB-ROTINAS (*2 - LIGA/DESLIGA OS MICROVENTILADORES E *3 - RADIÔMETRO LÍQUIDO).

Datalogger - 3; área de bracatinga - 28/07/98

*Table 1 Program

01: 30.0 Execution Interval (seconds)

1: Pulse (P3)

1: 1 Reps
 2: 1 Pulse Input Channel
 3: 21 Low Level AC, Output Hz
 4: 1 Loc [ws]
 5: 0.098 Mult
 6: 0.0 Offset

2: Excite Delay Volt (SE) (P4)

1: 1 Reps
 2: 5 ñ 5000 mV Slow Range
 3: 1 SE Channel
 4: 1 Excite all reps w/Exchan 1
 5: 2 Delay (units 0.01 sec)
 6: 5000 mV Excitation
 7: 2 Loc [dir]
 8: 0.071 Mult
 9: 0.0 Offset

3: Thermocouple Temp (SE) (P13)

1: 3 Reps
 2: 3 ñ 50 mV Slow Range
 3: 2 SE Channel
 4: 1 Type T (Copper-Constantan)
 5: 12 Ref Temp Loc [_____]
 6: 3 Loc [t#1]
 7: 1.0 Mult
 8: 0.0 Offset

4: Internal Temperature (P17)

1: 12 Loc [_____]

5: Volts (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 2 ñ 15 mV Slow Range
 3: 11 SE Channel
 4: 13 Loc [_____]
 5: 46.512 Mult
 6: 0.0 Offset

6: Volts (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 2 ñ 15 mV Slow Range

```

3: 12   SE Channel
4: 14   Loc [ _____ ]
5: 42.735 Mult
6: 0.0   Offset

7: Volts (SE) (P1)
1: 1    Reps
2: 2    ñ 15 mV Slow Range
3: 13   SE Channel
4: 15   Loc [ _____ ]
5: 78.46 Mult
6: 0.0   Offset

8: Volts (SE) (P1)
1: 1    Reps
2: 2    ñ 15 mV Slow Range
3: 14   SE Channel
4: 16   Loc [ _____ ]
5: 71.6 Mult
6: 0.0   Offset

9: Volt (Diff) (P2)
1: 1    Reps
2: 4    ñ 500 mV Slow Range
3: 8    DIFF Channel
4: 17   Loc [ _____ ]
5: 1.0  Mult
6: 0.0  Offset

10: IF (X<=>F) (P89)
1: 17   X Loc [ _____ ]
2: 3    >=
3: 0.0  F
4: 30   Then Do

11: Do (P86)
1: 1    Call Subroutine 1

12: Else (P94)

13: Do (P86)
1: 2    Call Subroutine 2

14: End (P95)

15: If time is (P92)
1: 0000 Minutes into a
2: 5    Minute Interval
3: 10   Set Output Flag High

16: Real Time (P77)
1: 111  Day,Hour/Minute,Seconds

17: Average (P71)
1: 17   Reps
2: 1    Loc [ ws   ]

18: Serial Out (P96)
1: 30   SM192/SM716/CSM1

```

***Table 2 Program**

02: 300.0 Execution Interval (seconds)

1: Excitation with Delay (P22)

1: 2 Ex Channel
 2: 6000 Delay w/Ex (units = 0.01 sec)
 3: 0000 Delay After Ex (units = 0.01 sec)
 4: 5000 mV Excitation

2: Internal Temperature (P17)

1: 12 Loc [_____]

3: Thermocouple Temp (SE) (P13)

1: 6 Reps
 2: 3 ñ 50 mV Slow Range
 3: 5 SE Channel
 4: 1 Type T (Copper-Constantan)
 5: 12 Ref Temp Loc [_____]
 6: 6 Loc [_____]
 7: 1.0 Mult
 8: 0.0 Offset

4: If time is (P92)

1: 0000 Minutes into a
 2: 5 Minute Interval
 3: 10 Set Output Flag High

5: Real Time (P77)

1: 111 Day,Hour/Minute,Seconds

6: Sample (P70)

1: 7 Reps
 2: 6 Loc [_____]

7: Serial Out (P96)

1: 30 SM192/SM716/CSM1

***Table 3 Subroutines**

1: Beginning of Subroutine (P85)

1: 1 Subroutine 1

2: Z=X*F (P37)

1: 1 X Loc [ws]
 2: 0.2 F
 3: 21 Z Loc [_____]

3: Z=X*F (P37)

1: 21 X Loc [_____]
 2: 0.066 F
 3: 19 Z Loc [_____]

4: Z=X+F (P34)

1: 21 X Loc [_____]
 2: 0.066 F
 3: 20 Z Loc [_____]

5: Z=X/Y (P38)

1: 19 X Loc [_____]

2: 20 Y Loc [_____]
 3: 22 Z Loc [_____]

6: Z=Z+1 (P32)
 1: 22 Z Loc [_____]

7: Z=X*F (P37)
 1: 17 X Loc [_____]
 2: 9.25 F
 3: 4 Z Loc [_____]

8: Z=X*Y (P36)
 1: 17 X Loc [_____]
 2: 22 Y Loc [_____]
 3: 17 Z Loc [_____]

9: End (P95)

10: Beginning of Subroutine (P85)
 1: 2 Subroutine 2

11: Z=X*F (P37)
 1: 1 X Loc [ws]
 2: 0.0017 F
 3: 19 Z Loc [_____]

12: Z=X+F (P34)
 1: 19 X Loc [_____]
 2: 0.9975 F
 3: 22 Z Loc [_____]

13: Z=X*F (P37)
 1: 17 X Loc [_____]
 2: 11.52 F
 3: 17 Z Loc [_____]

14: Z=X*Y (P36)
 1: 17 X Loc [_____]
 2: 22 Y Loc [_____]
 3: 17 Z Loc [_____]

15: End (P95)

End Program

ANEXO 5

FLUXOS DE ENERGIA DURANTE O DIA 31/08/1998, NA ÁREA DESMATADA.

HORA	RL	G2	LE2	Bo2	H2
730	16.49	-19.65	9.98	2.62	26.17
800	45.98	-18.87	17.67	2.67	47.19
830	154.2	-17.14	103.2	0.66	68.09
900	275.2	-13.96	207.6	0.39	81.61
930	158.9	-9.96	88.88	0.9	79.99
1000	318.3	-5.98	411.7	-0.21	-87.36
1030	425.7	-0.2	551	-0.23	-125.1
1100	400.8	7.14	333.8	0.18	59.86
1130	375.7	13.37	10.62	33.13	351.7
1200	272.1	16.77	172.7	0.48	82.61
1230	256.4	17.44	159.5	0.5	79.53
1300	189.2	16.38	108	0.6	64.84
1330	142.7	14.38	69.01	0.86	59.3
1400	114.3	11.92	53.84	0.9	48.5
1430	121.8	9.44	74.38	0.51	38
1500	149.7	7.64	100.8	0.41	41.22
1530	105.9	6.97	49.57	0.99	49.32
1600	87.5	5.57	38.25	1.14	43.68
1630	59.91	3.7	23.84	1.36	32.37
1700	31.77	1.53	12.6	1.4	17.64
1730	14.93	-0.94	3.11	4.1	12.75
Soma	3718	45.55	2600	53.36	1072
Média	177	2.169	123.8	0.496	51.05

ANEXO 6

DETALHES DAS TORRES COM OS APARELHOS MICROMETEOROLÓGICOS
INSTALADOS NA ÁREA ABERTA E FLORESTADA COM BRACATINGA.

